

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-320422

(43)Date of publication of application : 03.12.1996

(51)Int.Cl.

G02B 6/13  
 C08K 5/00  
 C08L101/00  
 G02B 6/12  
 G02B 6/26  
 G02B 6/42

(21)Application number : 07-154697

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 21.06.1995

(72)Inventor : YOSHIMURA TETSUZO  
 TSUKAMOTO KOJI  
 ISHIZUKA TAKESHI  
 MOTOYOSHI KATSUSADA  
 AOKI SHIGENORI  
 TOYAMA WATARU  
 YONEDA YASUHIRO  
 TATSUURA SATOSHI  
 SODA HARUHISA  
 YAMAMOTO TAKAYUKI

(30)Priority

Priority number : 06140502  
 07 61092

Priority date : 22.06.1994  
 20.03.1995

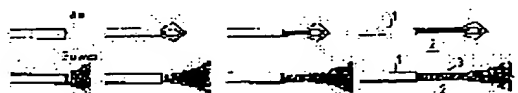
Priority country : JP  
 JP

## (54) PRODUCTION OF OPTICAL WAVEGUIDE SYSTEM AND OPTICAL DEVICE USING THE SYSTEM

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a method for automatically forming a waveguide, refractive index distribution or optical coupling by light incidence and a device obtd. by the method.

CONSTITUTION: An optical refractive index material 2 is irradiated with light of a wavelength at which its refractive index changes or a photosensitive material is irradiated with light of a wavelength at which its refractive index changes and the material is insolubilized to form the waveguide 3, refractive index distribution or optical coupling by using a self-focus effect. The optical refractive index materials are otherwise arranged in the whole or a part among the plural optical devices and these optical refractive index materials are irradiated with the light of the wavelength at which their refractive indices change from the one or plural optical devices or the photosensitive materials are arranged in the whole or a part among the plural optical devices and these photosensitive materials are irradiated with the light of the wavelength at which their refractive indices change and the materials are insolubilized from the one or plural optical devices, by which the waveguides or the optical couplings are formed and the optical



(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-320422

(43) 公開日 平成8年(1996)12月3日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 6/13			G 0 2 B 6/12	M
C 0 8 K 5/00	K A J		C 0 8 K 5/00	K A J
C 0 8 L 101/00	L T B		C 0 8 L 101/00	L T B
G 0 2 B 6/12			G 0 2 B 6/26	
6/26			6/42	

審査請求 未請求 請求項の数152 O L (全 30 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平7-154697

(22) 出願日 平成7年(1995)6月21日

(31) 優先権主張番号 特願平6-140502

(32) 優先日 平6(1994)6月22日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平7-61092

(32) 優先日 平7(1995)3月20日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 吉村 徹三

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(72) 発明者 塚本 浩司

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 石田 敬 (外2名)

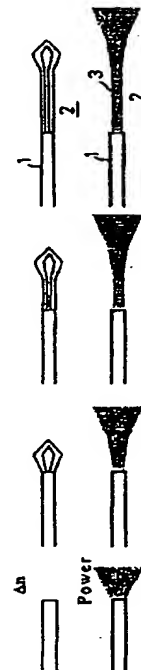
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路系の作製方法およびそれを用いた光デバイス

## (57) 【要約】

【目的】 光入射により自動的に導波路、屈折率分布もしくは光結合を形成する方法およびそれにより得られるデバイスを提供する。

【構成】 光屈折率材料にその屈折率が変化する波長の光を照射するか、感光材料にその屈折率が変化するとともに材料が不溶化する波長の光を照射し、セルフフォーカス効果を利用して導波路、屈折率分布もしくは光結合を形成する。あるいは、複数の光デバイスの間の全部または一部に、光屈折率材料を配置し、この光屈折率材料に1個または複数の光デバイスからその屈折率が変化する波長の光を照射するか、複数の光デバイスの間の全部または一部に、感光材料を配置し、この感光材料に1個または複数の光デバイスからその屈折率が変化するとともに材料が不溶化する波長の光を照射し、導波路もしくは光結合を形成して、光デバイス間の光結合を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光照射により屈折率が変化する光屈折率材料に、その屈折率が変化する波長の光を照射し、セルフフォーカシングを誘起しながら光導波路もしくは屈折率分布を形成することを特徴とする光導波路の作製方法。

【請求項 2】 屈折率の変化が所定の屈折率変化量で飽和するような光屈折率材料が用いられる請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】 光屈折率材料が書き込み光を吸収するかまたは光屈折率材料中の成分が書き込み光を吸収し、書き込み光がその吸収量を減少させながら屈折率変化を形成していく請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】 光照射により屈折率が変化するとともに不溶化する感光材料に、その屈折率が変化するとともに材料が不溶化する波長の光を照射し、セルフフォーカシングを誘起するとともにこの感光材料を不溶化させながら光導波路もしくは屈折率分布を形成することを特徴とする光導波路の作製方法。

【請求項 5】 屈折率の変化が所定の屈折率変化量で飽和するような感光材料が用いられる請求項 4 記載の方法。

【請求項 6】 感光材料が書き込み光を吸収するかまたは感光材料中の成分が書き込み光を吸収し、書き込み光がその吸収量を減少させながら光導波路を形成していく請求項 4 記載の方法。

【請求項 7】 同時にまたは時間を変えて複数の光が照射される、請求項 1～6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 8】 少なくとも 2 つの光源が、それぞれの光源からの光により生じる屈折率変化が互いに他に影響を及ぼし合うような配置で設けられる、請求項 7 記載の方法。

【請求項 9】 少なくとも 2 つの光デバイスが、それぞれのデバイスから出射される光により生じる屈折率変化が互いに他に影響を及ぼし合うような配置で設けられる、請求項 7 記載の方法。

【請求項 10】 複数の光デバイスの間の全部または一部に、光照射により屈折率が変化する光屈折率材料を配置し、この光屈折率材料に 1 個または複数の光デバイスからその屈折率が変化する波長の光を照射し、セルフフォーカシングを誘起しながら形成された光導波路もしくは屈折率分布を用いて光デバイス間の光結合を行うことを特徴とする光結合法。

【請求項 11】 屈折率の変化が所定の屈折率変化量で飽和するような光屈折率材料が用いられる請求項 10 記載の方法。

【請求項 12】 光屈折率材料が書き込み光を吸収するかまたは光屈折率材料中の成分が書き込み光を吸収し、書き込み光がその吸収量を減少させながら屈折率変化を形成していく請求項 10 記載の方法。

【請求項 13】 2 個以上の光デバイスから前記光屈折率材料の屈折率が変化する波長の光を照射して導波路もしくは屈折率分布を形成する際に、少なくとも 2 個の光デバイスが、それぞれのデバイスからの光により形成される屈折率変化が互いに他に影響を及ぼし合うような配置で設けられる、請求項 10～12 のいずれかに記載の方法。

【請求項 14】 複数の光デバイスの間の全部または一部に、光照射により屈折率が変化するとともに不溶化する感光材料を配置し、この感光材料に 1 個または複数の光デバイスからその屈折率が変化するとともに材料が不溶化する波長の光を照射し、セルフフォーカシングを誘起するとともにこの感光材料を不溶化させながら形成された光導波路もしくは屈折率分布を用いて光デバイス間の光結合を行うことを特徴とする光結合法。

【請求項 15】 屈折率の変化が所定の屈折率変化量で飽和するような感光材料が用いられる請求項 14 記載の方法。

【請求項 16】 感光材料が書き込み光を吸収するかまたは感光材料中の成分が書き込み光を吸収し、書き込み光がその吸収量を減少させながら光導波路もしくは屈折率分布を形成していく請求項 14 記載の方法。

【請求項 17】 2 個以上の光デバイスから前記感光材料が感じる波長の光を照射して導波路もしくは屈折率分布を形成する際に、少なくとも 2 個の光デバイスが、それぞれのデバイスからの光により形成される屈折率変化が互いに他に影響を及ぼし合うような配置で設けられる、請求項 14～16 のいずれかに記載の方法。

【請求項 18】 光デバイスが、光導波路、光ファイバ、半導体レーザ、発光ダイオード、フォトダイオード、レンズ、ホログラム、プリズム、ミラー、ピンホール、スリットおよびグレーティングから選ばれる、請求項 9～17 のいずれかに記載の方法。

【請求項 19】 光が通過する領域の全部または少なくとも一部に、ミラー、グレーティング、ホログラム、プリズム、レンズ、光導波路、ピンホール、光ファイバまたはスリットが配置される、請求項 1～18 のいずれかに記載の方法。

【請求項 20】 光の照射後、現像により材料の可溶部を除去して導波路パターンまたは屈折率分布パターンを形成する、請求項 4～6、14～17 のいずれかに記載の方法。

【請求項 21】 光屈折率材料または感光材料に導波路、屈折率分布および／またはパターンの付与後、光照射および／または加熱により前記材料を硬化し、安定化し、および／または不活性化する、請求項 1～20 のいずれかに記載の方法。

【請求項 22】 光屈折率材料または感光材料が有機ポリマ、オリゴマおよび／またはモノマからなる、請求項 1～21 のいずれかに記載の方法。

【請求項 23】 光屈折率材料または感光材料が感光性ガラスである、請求項 1～21 のいずれかに記載の方法。

【請求項 24】 感光材料にパターンの付与後、空洞部を他の材料でカバーする、請求項 4～6、14～17、20～23 のいずれかに記載の方法。

【請求項 25】 光屈折率材料または感光材料に照射する光として、光デバイスそれ自体が発生する光を用いる、請求項 1～24 のいずれかに記載の方法。

【請求項 26】 光屈折率材料または感光材料に照射する光として、光デバイスに外部から導入された光を用いる、請求項 1～24 のいずれかに記載の方法。

【請求項 27】 光屈折率材料または感光材料に照射する光として、光デバイスに外部から導入された光により光デバイス内に発生した光を用いる、請求項 1～24 のいずれかに記載の方法。

【請求項 28】 光屈折率材料または感光材料に照射する光として、光デバイスに外部から光を照射しこれにより光デバイス内に発生した光を用いる、請求項 1～24 のいずれかに記載の方法。

【請求項 29】 光デバイスの一部または全部に蛍光物質、2光子吸収蛍光物質、アップコンバージョン物質およびSHG物質から選ばれる物質を含有させ、励起光により発光を生じさせる、請求項 27 または 28 記載の方法。

【請求項 30】 光屈折率材料または感光材料に照射する光として、前記材料の一部または全部に蛍光物質、2光子吸収蛍光物質、アップコンバージョン物質およびSHG物質から選ばれる物質を含有させ、光デバイスからの励起光により生じた発光を用いる、請求項 1～24 のいずれかに記載の方法。

【請求項 31】 LD/ファイバまたは導波路間結合を行う際に、光屈折率材料または感光材料に照射される光を、LD端面のLD光出射領域またはそれとほぼ同じ領域から選択的に反射させ、進行光と反射光の相互作用により導波路形成もしくは導波路結合を行わせる、請求項 1～30 のいずれかに記載の方法。

【請求項 32】 光屈折率材料または感光材料に照射する光に対する反射膜がLD端面のLD光出射領域またはそれとほぼ同じ領域に形成される、請求項 31 記載の方法。

【請求項 33】 光屈折率材料または感光材料に照射する光に対する吸収膜がLD端面のLD光出射領域以外または前記LD端面のLD光出射領域とほぼ同じ領域以外の領域に形成される、請求項 31 記載の方法。

【請求項 34】 ファイバまたは導波路の端面またはその付近にマイクロレンズが形成される、請求項 31 記載の方法。

【請求項 35】 ファイバまたは導波路の端面またはその付近がせん球形を有する、請求項 31 記載の方法。

【請求項 36】 請求項 1～35 項のいずれかに記載の方法で作製された曲がり導波路。

【請求項 37】 請求項 1～35 のいずれかに記載の方法で作製された空間ビームカップラ。

【請求項 38】 請求項 1～35 のいずれかに記載の方法で作製されたZ-軸導波路。

【請求項 39】 請求項 1～35 のいずれかに記載の方法で作製された導波路/ファイバカップラ。

【請求項 40】 請求項 1～35 のいずれかに記載の方法で作製されたLD/ファイバまたはLD/導波路カップラ。

【請求項 41】 請求項 1～35 のいずれかに記載の方法で作製された光SMT。

【請求項 42】 請求項 1～35 のいずれかに記載の方法で作製された分岐導波路。

【請求項 43】 請求項 1～35 のいずれかに記載の方法で作製されたスターカップラ。

【請求項 44】 請求項 1～35 のいずれかに記載の方法で作製された交差導波路。

【請求項 45】 請求項 1～35 のいずれかに記載の方法で作製された空間導波路。

【請求項 46】 請求項 1～35 のいずれかに記載の方法で作製された波長フィルタ。

【請求項 47】 請求項 1～35 のいずれかに記載の方法で作製されたモード変換器。

【請求項 48】 光照射により屈折率が変化する光屈折率材料に光を照射し、セルフフォーカシングを誘起しながら屈折率分布を形成することを特徴とする光デバイスの作製方法。

【請求項 49】 光屈折率材料が2または3以上の波長の光の重畳により各波長の光単独で生じる屈折率変化の和よりも大きな屈折率変化を生じるものであり、光デバイスが2または3以上の波長の光を重畳させることによりこの光の重畳部を含む領域に形成される、請求項 48 記載の方法。

【請求項 50】 光屈折率材料が2または3以上の波長の光の重畳により各波長の光単独で生じる屈折率変化の和よりも大きな屈折率変化を生じるものであり、光デバイスが2または3以上の波長の光を重畳させることによりこの光の重畳部を含む領域に形成されることを特徴とする光デバイスの作製方法。

【請求項 51】 光照射により屈折率が変化するとともに硬化して不溶化する感光材料に光を照射し、セルフフォーカシングを誘起するとともにこの感光材料を不溶化させながら屈折率分布を形成することを特徴とする光デバイスの作製方法。

【請求項 52】 感光材料が2または3以上の波長の光の重畳により各波長の光単独で生じる屈折率変化の和よりも大きな屈折率変化を生じるものであり、光デバイスが2または3以上の波長の光を重畳させることによりこ

の光の重畳部を含む領域に形成される、請求項 5 1 記載の方法。

【請求項 5 3】 感光材料が 2 または 3 以上の波長の光の重畳により各波長の光単独で生じる屈折率変化の和よりも大きな屈折率変化を生じるものであり、光デバイスが 2 または 3 以上の波長の光を重畳させることによりこの光の重畳部を含む領域に形成されることを特徴とする光デバイスの作製方法。

【請求項 5 4】 2 または 3 以上の波長の光が同時にまたは時間を変えて導入される、請求項 4 8～5 3 のいずれかに記載の方法。

【請求項 5 5】 少なくとも 2 つの光源が、それぞれの光源からの 2 または 3 以上の波長の光により生じる屈折率変化が互いに他に影響を及ぼし合うような配置で設けられる、請求項 5 4 記載の方法。

【請求項 5 6】 少なくとも 2 つの光デバイスが、それぞれのデバイスから出射される光により生じる屈折率変化が互いに他に影響を及ぼし合うような配置で設けられる、請求項 5 4 記載の方法。

【請求項 5 7】 少なくとも 1 の波長の光が材料の外部から照射されたスポット光またはパターン化された光もしくは未パターン光である、請求項 4 8～5 6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 5 8】 外部から照射されたスポット光またはパターン化された光もしくは未パターン光が移動される、請求項 5 7 記載の方法。

【請求項 5 9】 光デバイスが光導波路である、請求項 4 8～5 8 のいずれかに記載の方法。

【請求項 6 0】 光デバイスがレンズ、ホログラム、プリズム、グレーティング、ミラー、ピンホールおよびスリットから選ばれる、請求項 4 8～5 8 のいずれかに記載の方法。

【請求項 6 1】 請求項 4 8～5 8 のいずれかに記載した方法により得られる光デバイス。

【請求項 6 2】 光導波路である、請求項 6 1 記載の光デバイス。

【請求項 6 3】 レンズ、ホログラム、プリズム、グレーティング、ミラー、ピンホールおよびスリットから選ばれる、請求項 6 1 記載の光デバイス。

【請求項 6 4】 複数の光デバイスの間の全部または一部に光屈折率材料を配置し、この光屈折率材料に 1 個または複数の光デバイスから光を照射して屈折率分布を付与することにより、光デバイス間の光結合を行う光結合法において、前記光屈折率材料が 2 または 3 以上の波長の光の重畳により各波長の光単独で生じる屈折率変化の和よりも大きな屈折率変化を生じるものであり、2 または 3 以上の波長の光を重畳させることによりこの光の重畳部を含む領域に導波路または屈折率分布を形成し、前記 2 または 3 以上の波長の光のうちの少なくとも 1 の光は光デバイスからの出射光であり、これにより形

成された光導波路または屈折率分布により光デバイス間の光結合を行うことを特徴とする光結合法。

【請求項 6 5】 複数の光デバイスの間の全部または一部に感光材料を配置し、この感光材料に 1 個または複数の光デバイスから光を照射して屈折率分布を付与することにより、光デバイス間の光結合を行う光結合法において、前記感光材料が 2 または 3 以上の波長の光の重畳により各波長の光単独で生じる屈折率変化の和よりも大きな屈折率変化を生じるものであり、2 または 3 以上の波長の光を重畳させることによりこの光の重畳部を含む領域に導波路または屈折率分布を形成し、前記 2 または 3 以上の波長の光のうちの少なくとも 1 の光は光デバイスからの出射光であり、これにより形成された光導波路または屈折率分布により光デバイス間の光結合を行うことを特徴とする光結合法。

【請求項 6 6】 2 個以上の光デバイスから光を照射して導波路または屈折率分布を形成する際に、少なくとも 2 個の光デバイスがそれぞれの光源からの光により生じる屈折率変化が互いに他に影響を及ぼし合うような配置で設けられ、これらの光デバイスのうちの少なくとも 1 個は他の光デバイスの波長と異なる波長の光を出射し、これにより光デバイス間を結ぶ光導波路または屈折率分布を形成して、光結合を行う、請求項 6 4 または 6 5 記載の方法。

【請求項 6 7】 少なくとも 1 の波長の光が材料の外部から照射されたスポット光またはパターン化された光もしくは未パターン光である、請求項 6 4～6 6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 6 8】 外部から照射されたスポット光またはパターン化された光もしくは未パターン光が移動される、請求項 6 7 記載の方法。

【請求項 6 9】 光デバイスが光導波路、光ファイバ、半導体レーザ、発光ダイオード、フォトダイオード、レンズ、ホログラム、プリズム、グレーティング、ミラー、ピンホールおよびスリットから選ばれる、請求項 6 4～6 8 のいずれかに記載の方法。

【請求項 7 0】 光屈折率材料または感光材料が、1 の波長の光により励起状態に励起され、さらにその状態から他の波長の光で他の状態に励起される物質を含み、この物質により反応が生起される、請求項 4 8～6 0 または 6 4～6 9 のいずれかに記載の方法。

【請求項 7 1】 光屈折率材料または感光材料が、1 の波長の光により励起状態に励起され、その状態から他の状態に移り、他の波長の光でさらに他の状態に励起される物質を含み、この物質により反応が生起される、請求項 4 8～6 0 または 6 4～6 9 のいずれかに記載の方法。

【請求項 7 2】 物質が 2 以上の分子の複合体である、請求項 7 0 または 7 1 記載の方法。

【請求項 7 3】 分子の少なくとも 1 つは電子供与性で

あり、他の少なくとも1つは電子受容性である、請求項72記載の方法。

【請求項74】 2波長が同一である、請求項48～60または64～73のいずれかに記載の方法。

【請求項75】 光波長が幅をもつ波長帯の光が用いられる、請求項48～60または64～74のいずれかに記載の方法。

【請求項76】 光が通過する領域の全部または少なくとも一部に、ミラー、グレーティング、ホログラム、プリズム、レンズ、光導波路、ピンホール、光ファイバまたはスリットが配置される、請求項48～60または64～75のいずれかに記載の方法。

【請求項77】 現像により可溶部が除去される光の重畳部を含む領域に形成される、請求項51、52または65記載の方法。

【請求項78】 光屈折率材料または感光材料に導波路、屈折率分布および／またはパターンの付与後、光照射および／または加熱により前記材料を硬化し、安定化し、および／または不活性化する、請求項48～60または64～77のいずれかに記載の方法。

【請求項79】 光屈折率材料または感光材料が有機ポリマ、オリゴマおよび／またはモノマからなる、請求項48～60または64～78のいずれかに記載の方法。

【請求項80】 光屈折率材料または感光材料が感光性ガラスである、請求項48～60または64～79のいずれかに記載の方法。

【請求項81】 感光材料にパターンの付与後、空洞部を他の材料でカバーする、請求項51、52、65、77～80のいずれかに記載の方法。

【請求項82】 請求項48～60または64～80のいずれかに記載の方法で作製された曲がり導波路。

【請求項83】 請求項48～60または64～80のいずれかに記載の方法で作製された空間ビームカップラ。

【請求項84】 請求項48～60または64～80のいずれかに記載の方法で作製されたZ-軸導波路。

【請求項85】 請求項48～60または64～80のいずれかに記載の方法で作製されたLDカップラ。

【請求項86】 請求項48～60または64～80のいずれかに記載の方法で作製された光SMT。

【請求項87】 請求項48～60または64～80のいずれかに記載の方法で作製された分岐導波路。

【請求項88】 請求項48～60または64～80のいずれかに記載の方法で作製されたスターカップラ。

【請求項89】 請求項48～60または64～80のいずれかに記載の方法で作製された交差導波路。

【請求項90】 請求項48～60または64～80のいずれかに記載の方法で作製された空間導波路。

【請求項91】 請求項48～60または64～80のいずれかに記載の方法で作製された波長フィルタ。

【請求項92】 請求項48～60または64～80のいずれかに記載の方法で作製されたモード変換器。

【請求項93】 光屈折率材料または感光材料に照射する光として、光デバイスそれ自体が発生する光を用いる、請求項48～60または64～81のいずれかに記載の方法。

【請求項94】 光屈折率材料または感光材料に照射する光として、光デバイスに外部から導入された光を用いる、請求項48～60または64～81のいずれかに記載の方法。

【請求項95】 光屈折率材料または感光材料に照射する光として、光デバイスに外部から導入された光により光デバイス内に発生した光を用いる、請求項48～60または64～81のいずれかに記載の方法。

【請求項96】 光屈折率材料または感光材料に照射する光として、光デバイスに外部から光を照射しこれにより光デバイス内に発生した光を用いる、請求項48～60または64～81のいずれかに記載の方法。

【請求項97】 光屈折率材料または感光材料に照射する光として、請求項93～96に記載の光から選ばれる複数の光を用いる、請求項48～60または64～81のいずれかに記載の方法。

【請求項98】 光デバイスの一部または全部に蛍光物質、2光子吸収発光物質、アップコンバージョン物質およびSHG物質から選ばれる物質を含有させ、励起光により発光を生じさせる、請求項48～60または64～81のいずれかに記載の方法。

【請求項99】 光デバイスの一部または全部に励起光を照射し、発光を生じさせる、請求項48～60または64～81のいずれかに記載の方法。

【請求項100】 光屈折率材料または感光材料に照射する光として、前記材料の一部または全部に蛍光物質、2光子吸収発光物質、アップコンバージョン物質およびSHG物質から選ばれる物質を含有させ、光デバイスからの励起光により生じた発光を用いる、請求項48～60または64～81のいずれかに記載の方法。

【請求項101】 LD／ファイバまたは導波路間結合を行う際に、光屈折率材料または感光材料に照射する光が、ファイバまたは光導波路からの出射光と、この光の照射によりLDのLD光出射領域またはそれとほぼ同じ領域から選択的に反射された反射光である、請求項48～60または64～81のいずれかに記載の方法。

【請求項102】 光屈折率材料または感光材料に照射する光に対する反射膜がLD端面のLD光出射領域またはそれとほぼ同じ領域に形成される、請求項101記載の方法。

【請求項103】 光屈折率材料または感光材料に照射する光に対する吸収膜がLD端面のLD光出射領域以外または前記LD端面のLD光出射領域とほぼ同じ領域以外の領域に形成される、請求項101記載の方法。

【請求項104】 ファイバまたは導波路の端面またはその付近にマイクロレンズが形成される、請求項101記載の方法。

【請求項105】 ファイバまたは導波路の端面またはその付近がせん球形を有する、請求項101記載の方法。

【請求項106】 LD/ファイバまたは導波路間結合を行う際に、光屈折率材料または感光材料に照射する光が、ファイバまたは光導波路からの出射光と、この光の照射によりLDのLD光出射領域またはそれとほぼ同じ領域から選択的に発光した放射光である、請求項48～60または64～81のいずれかに記載の方法。

【請求項107】 ファイバまたは光導波路からの出射光が光導波路、屈折率分布もしくは光結合を形成するために重畳させる2または3以上の波長のうちから選ばれた波長の光であり、発光した放射光が光導波路、屈折率分布もしくは光結合を形成するために重畳させる2または3以上の波長のうちから選ばれた他の波長の光である、請求項106記載の方法。

【請求項108】 LD/ファイバまたは導波路間結合を行う際に、光屈折率材料または感光材料に照射する光が、ファイバまたは光導波路からの出射光と、外部からの光照射によりLDのLD光出射領域またはそれとほぼ同じ領域から選択的に発光した放射光である、請求項48～60または64～81のいずれかに記載の方法。

【請求項109】 ファイバまたは光導波路からの出射光が光導波路、屈折率分布もしくは光結合を形成するために重畳させる2または3以上の波長のうちから選ばれた波長の光であり、発光した放射光が光導波路、屈折率分布もしくは光結合を形成するために重畳させる2または3以上の波長のうちから選ばれた他の波長の光である、請求項108記載の方法。

【請求項110】 ファイバまたは光導波路からの出射光および発光した放射光が光導波路、屈折率分布もしくは光結合を形成するために重畳させる2または3以上の波長のうちから選ばれた波長の光であり、外部からの光が光導波路、屈折率分布もしくは光結合を形成するために重畳させる2または3以上の波長のうちから選ばれた他の波長の光である、請求項108記載の方法。

【請求項111】 LD/ファイバまたは導波路間結合を行う際に、光屈折率材料または感光材料に照射する光が、外部からの光照射によりLDのLD光出射領域またはそれとほぼ同じ領域から選択的に発光した放射光および外部からの光照射によりファイバまたは光導波路のファイバまたは光導波路光出射領域またはそれとほぼ同じ領域から選択的に発光した放射光である、請求項48～60または64～81のいずれかに記載の方法。

【請求項112】 一方の発光した放射光が光導波路、屈折率分布もしくは光結合を形成するために重畳させる2または3以上の波長のうちから選ばれた波長の光であ

り、他方の発光した放射光が光導波路、屈折率分布もしくは光結合を形成するために重畳させる2または3以上の波長のうちから選ばれた他の波長の光である、請求項111記載の方法。

【請求項113】 発光した放射光が光導波路、屈折率分布もしくは光結合を形成するために重畳させる2または3以上の波長のうちから選ばれた波長の光であり、外部からの光が光導波路、屈折率分布もしくは光結合を形成するために重畳させる2または3以上の波長のうちから選ばれた他の波長の光である、請求項111記載の方法。

【請求項114】 光照射により発光する材料からなる膜が、LDのLD光出射領域またはそれとほぼ同じ領域に形成されている、請求項107～113のいずれかに記載の方法。

【請求項115】 出射光または外部光に、光導波路、屈折率分布もしくは光結合を形成するために重畳させる2または3以上の波長のうちから選ばれた波長の光と発光放射光を励起する波長の光が含まれる、請求項106～113のいずれかに記載の方法。

【請求項116】 ファイバまたは導波路の端面またはその付近にマイクロレンズが形成される、請求項106～115のいずれかに記載の方法。

【請求項117】 ファイバまたは導波路の端面またはその付近がせん球形を有する、請求項106～115のいずれかに記載の方法。

【請求項118】 LDと他の光デバイスとを結合させる際に、LDからの書き込み光を光デバイスを通してモニタし、書き込み時間をコントロールする、請求項64～67のいずれかに記載の方法。

【請求項119】 複数の光デバイスの間の全部または一部に光屈折率材料を配置し、この光屈折率材料に複数の光デバイスから光を照射して屈折率分布を付与することにより、光デバイス間の光結合を行うセルフアライン光結合において、一方のデバイスからの出射光により形成された屈折率分布により、他方のデバイスからの出射光が引き寄せられ、これにより屈折率分布を形成して、デバイス間の結合路を形成することを特徴とするセルフアライン光結合法。

【請求項120】 一方のデバイスがLDである、請求項119記載の方法。

【請求項121】 複数の光デバイスの間の全部または一部に光屈折率材料を配置し、この光屈折率材料に光デバイスから光を照射して屈折率分布を付与することにより、光デバイス間の光結合を行う光結合において、出射端のモードフィールドサイズが小さいデバイスからの出射光により屈折率分布を形成して、デバイス間の結合路を形成することを特徴とする光結合法。

【請求項122】 出射端のモードフィールドサイズが小さいデバイスがLDである、請求項121記載の方



法。

【請求項 1 2 3】 複数の光デバイスの間の全部または一部に光屈折率材料を配置し、この光屈折率材料に光デバイスから光を照射して屈折率分布を付与することにより、光デバイス間の光結合を行う光結合において、出射端のモードフィールドサイズが小さいデバイスからの出射光によりその光のセルフフォーカス効果による屈折率分布を形成することを特徴とする光結合法。

【請求項 1 2 4】 一方のデバイスが LD、導波路または光ファイバである、請求項 1 2 3 記載の方法。

【請求項 1 2 5】 複数の光デバイスの間の全部または一部に光屈折率材料を配置し、この光屈折率材料に複数の光デバイスから光を照射して屈折率分布を付与することにより、光デバイス間の光結合を行う光結合において、少なくとも 2 つ以上の光デバイスにおいて出射光の波長が異なることを特徴とする光結合法。

【請求項 1 2 6】 一方のデバイスの光出射端またはその近傍に蛍光物質を配置し、他方の光デバイスからの光により蛍光を発生させる、請求項 1 2 5 記載の方法。

【請求項 1 2 7】 波長の異なる出射光の波長の全部が増感剤の感度領域内にある、請求項 1 2 5 記載の方法。

【請求項 1 2 8】 波長の異なる出射光の波長の少なくとも 1 つが増感剤の感度領域内にあり、他の波長が増感剤の感度領域外にある、請求項 1 2 5 記載の方法。

【請求項 1 2 9】 複数の光デバイスの間の全部または一部に感光材料を配置し、この感光材料に複数の光デバイスから光を照射して屈折率分布を付与することにより、光デバイス間の光結合を行う光結合において、一方のデバイスからの出射光により形成された屈折率分布により、他方のデバイスからの出射光が引き寄せられ、これにより屈折率分布を形成して、デバイス間の結合路を形成することを特徴とする光結合法。

【請求項 1 3 0】 一方のデバイスが LD である、請求項 1 2 9 記載の方法。

【請求項 1 3 1】 複数の光デバイスの間の全部または一部に感光材料を配置し、この感光材料に光デバイスから光を照射して屈折率分布を付与することにより、光デバイス間の光結合を行う光結合において、出射端のモードフィールドサイズが小さいデバイスからの出射光により屈折率分布を形成して、デバイス間の結合路を形成することを特徴とする光結合法。

【請求項 1 3 2】 出射端のモードフィールドサイズが小さいデバイスが LD である、請求項 1 3 1 記載の方法。

【請求項 1 3 3】 複数の光デバイスの間の全部または一部に感光材料を配置し、この感光材料に複数の光デバイスから光を照射して屈折率分布を付与することにより、光デバイス間の光結合を行うセルフアライン光結合において、少なくとも 2 つ以上の光デバイスにおいて出射光の波長が異なることを特徴とするセルフアライン

光結合法。

【請求項 1 3 4】 一方のデバイスの光出射端またはその近傍に蛍光物質を配置し、他方の光デバイスからの光により蛍光を発生させる、請求項 1 3 3 記載の方法。

【請求項 1 3 5】 波長の異なる出射光の波長の全部が増感剤の感度領域内にある、請求項 1 3 3 記載の方法。

【請求項 1 3 6】 波長の異なる出射光の波長の少なくとも 1 つが増感剤の感度領域内にあり、他の波長が増感剤の感度領域外にある、請求項 1 3 3 記載の方法。

【請求項 1 3 7】 それぞれの光が同時にまたは交互に出射される請求項 1 2 1 ~ 1 3 6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 1 3 8】 光デバイスが光導波路、光ファイバ、半導体レーザ、発光ダイオード、フォトダイオード、レンズ、ホログラム、プリズム、グレーティング、ミラー、ピンホールおよびスリットから選ばれたものである、請求項 1 2 1 ~ 1 3 7 のいずれかに記載の方法。

【請求項 1 3 9】 光が通過する領域の全部または少なくとも一部に、ミラー、グレーティング、ホログラム、プリズム、レンズ、導波路、ピンホールまたはスリットが配置される、請求項 1 2 1 ~ 1 3 8 のいずれかに記載の方法。

【請求項 1 4 0】 光の照射後、現像により材料の可溶部が除去される、請求項 1 2 9 ~ 1 3 6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 1 4 1】 屈折率分布書込みする際に、書込み光に強度変調をかけることを特徴とする屈折率分布の書込み方式。

【請求項 1 4 2】 光デバイスの全部または少なくとも光出射端を含む一部の領域に光屈折率材料を設け、光デバイスの出射端から出射した光により光屈折率材料の屈折率を変化させたことを特徴とする光デバイス。

【請求項 1 4 3】 光デバイスの全部または少なくとも光出射端を含む一部の領域に感光材料を設け、光デバイスの出射端から出射した光により感光材料を感光させたことを特徴とする光デバイス。

【請求項 1 4 4】 光デバイスが LD または導波路または光ファイバである、請求項 1 4 2 または 1 4 3 記載の光デバイス。

【請求項 1 4 5】 光デバイスの全部または少なくとも光出射端を含む一部の領域に光屈折率材料を設け、光デバイスの出射端から出射した光により出射光のセルフフォーカス効果による屈折率分布を形成することを特徴とする光結合法。

【請求項 1 4 6】 光デバイスの全部または少なくとも光出射端を含む一部の領域に感光材料を設け、光デバイスの出射端から出射した光により出射光のセルフフォーカス効果による屈折率分布を形成することを特徴とする光結合法。

【請求項 1 4 7】 光デバイスが LD または導波路また



は光ファイバである、請求項 145 または 146 記載の光結合法。

【請求項 148】 複数の光デバイスの全部または少なくとも光出射端を含む一部の領域に光屈折率材料を設け、光デバイスの出射端から出射した光のセルフフォーカス効果による屈折率分布を光屈折率材料に形成したことを特徴とする光結合モジュール。

【請求項 149】 複数の光デバイスの全部または少なくとも光出射端を含む一部の領域に感光材料を設け、光デバイスの出射端から出射した光のセルフフォーカス効果による感光を感光材料に施したことを特徴とする光結合モジュール。

【請求項 150】 光デバイスが LD と導波路または光ファイバである、請求項 148 または 149 記載の光結合モジュール。

【請求項 151】 光デバイスが PD と導波路または光ファイバであるかまたは導波路と光ファイバである、請求項 148 または 149 記載の光結合モジュール。

【請求項 152】 光デバイスが凹凸加工された基板に固定されている、請求項 148 または 149 記載の光結合モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光導波路系の作製方法に関する。さらに詳しく述べるならば、本発明は、自己組織化により光導波路系や屈折率分布、光結合路を作製する方法に関する。本発明の方法は、特に、曲がり導波路、空間ビームカップラ、Z-軸導波路、導波路カップラ、LD カップラ、分岐導波路、スターカップラ、交差導波路、空間導波路、波長フィルタ、モード変換器等の光導波路系の作製に有利に用いることができる。

【0002】

【従来の技術】 情報処理や通信の分野では、配線の光化が急激に進み、今後、光化された並列プロセッサや Fiber to the Home など光技術の浸透が進展して行くと思われる。この場合、導波路デバイスを始めとする各種光集積回路が必要となるとともに、ファイバを含め、各種光デバイス間の光結合を簡便かつ高効率なものにしなければならない。

【0003】 しかしながら、従来においては、導波路の形成方法としてエッチング法などが知られているが、この方法は位置決め精度や形状の自由度が少ないという欠点を有し、また以下のような問題もある。

(1) V溝法などの光デバイス間の位置精度の追求がなされているが、まだ高効率・高トレランスの要求を十分に満足する性能は実現されていない。

(2) 各光デバイスからの出射光の広がり角が異なる場合がある。

(3) 各光デバイスからの出射端のモード径が異なる場合がある。

また、特開昭 55-43538 や特開昭 60-173508 では、光照射により屈折率が変化する物質に導波路からの光を照射して、レンズ状の屈折率分布や導波路を形成し、光結合効率を向上させることが提案されている。しかしながら、これらの方法では、セルフフォーカス効果を利用していないために、導波路自体の自己組織化効果が得られず、効率向上の度合いや安定性、デバイス構造の自由度において不十分な面がある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は、光照射により光屈折率が変化する物質（以下、「光屈折率材料」と記す）や、光照射により光屈折率が変化するとともに不溶化（硬化）する物質（以下、「感光材料」と記す）を用いて自己組織化する導波路もしくは屈折率分布の作製方法およびこれを用いたデバイスを実現し、上記の如き従来技術の問題点を解決しようとするものである。

【0005】 本発明は、従って、光入射により自動的に導波路を掘り進ませる方法とそれにより形成されるデバイス、光入射によりいくつかの導波路を自動的に合体させるなどして、導波路回路網を作る方法やセルフフォーカス効果により形成されるテーパ状などの種々の屈折率分布の作製方法とそれにより形成されるデバイスや、このようにして得られる導波路や屈折率分布を用いた無調整された光結合器を提供することを目的とする。本発明は、また、光デバイス出射端からの光出射により、光屈折率材料や感光材料に屈折率分布を形成することにより、前述した問題点 (1) ~ (3) を解決する方法、およびこれらの方法をデバイスおよびモジュールに適用した際の、構造および製造方法を提供することを目的とする。

【0006】 なお、本発明に係るこれらのデバイスや光結合器を総称して、自己組織化光導波路網=Self-Organized Lightwave Network (SOLNET) と呼ぶのが便宜的であろう。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明によれば、上記課題を解決するため、光屈折率材料に、その屈折率が変化する波長の光を照射し、セルフフォーカシングを誘起しながら光導波路もしくは屈折率分布を形成することを特徴とする光導波路または屈折率分布の作製方法が提供される。

【0008】 本発明によれば、また、感光材料に、その屈折率が変化するとともに材料が不溶化する波長の光を照射し、セルフフォーカシングを誘起するとともにこの感光材料を不溶化させながら光導波路若しくは屈折率分布を形成することを特徴とする光導波路または屈折率分布の作製方法が提供される。本発明によれば、また、複数の光デバイスの間の全部または一部に、光屈折率材料を配置し、この光屈折率材料に 1 個または複数の光デバイスからその屈折率が変化する波長の光を照射し、

セルフフォーカシングを誘起しながら形成された光導波路や屈折率分布を用いて光デバイス間の光結合を行うことを特徴とするセルフアライン光結合法が提供される。

【0009】本発明によれば、さらに、複数の光デバイスの間の全部または一部に、感光材料を配置し、この感光材料に1個または複数の光デバイスからその屈折率が変化するとともに材料が不溶化する波長の光を照射し、セルフフォーカシングを誘起するとともにこの感光材料を不溶化させながら形成された光導波路や屈折率分布を用いて光デバイス間の光結合を行うことを特徴とするセルフアライン光結合法が提供される。

【0010】本発明によれば、さらに、セルフフォーカシングを伴うかまたはそれを伴わずに、複数波長の光を用いて上記の如き導波路、屈折率分布もしくは光結合路を形成する方法が提供される。

【0011】

【実施例】以下、実施例を挙げ、図面を参照しながら、本発明を具体的に説明する。図1に、セルフフォーカシングを利用して光導波路を作製する例を模式的に示す。光屈折率材料は、通常、書き換え可能な材料を示すことが多いが、ここでは書き換え可能な材料および書き換え不能な材料の両方を示すこととする。光源1から出射する光が光屈折率材料2中に入ると、この光屈折率材料の屈折率が変化し、セルフフォーカシング現象が生じ、光屈折率材料中に周囲の屈折率とは異なる屈折率を有する部分からなる光導波路3が形成されるのである。例えば、幅8 $\mu$ mの導波路からなる光源1（コアの屈折率=1.62、クラッドの屈折率=1.6）から出射された光（波長488nm）は、光屈折率材料2中に入射されてセルフフォーカスし、これにより光導波路3が形成される。図29に、このときのセルフフォーカスの様子を2次元空間でシミュレーションした結果を示す〔導波路屈折率：1.61、周囲（クラッド）屈折率：1.60、4ステップ露光、ピークパワー1、幅3.6 $\mu$ mのガウシアンビーム入力、1ステップ当たりの屈折率変化 $\Delta n = 0.003p$ （ $p$ は光パワー）として計算〕。図はビームプロパゲーションメソッド（BPM）を用いて得られたものであり、上側は屈折率分布を示し、下側は光パワー伝播を示す。なお、用いる光は、単波長のものである必要はなく、白色光やスペクトル幅がブロードな光であってもよい。伝播光は波長1.3 $\mu$ mで下から上に伝播している。例えば、エポキシ系のマトリクスにビニルカルバゾールや重合開始剤などを混合したものを光屈折率材料として用い、ファイバを光屈折率材料中に設置し、ファイバにUV硬化樹脂用の硬化用ランプを通し、端面コアから出射させたこの光により、光屈折率材料中に屈折率分布が書き込まれ、コア端面から伸びた光導波路が形成されることがわかった。ファイバは石英のシングルモード（1.3 $\mu$ m）であり、光強度は、約40 $\mu$ Wである。

【0012】屈折率変化は、2光子吸収で生じてもよい。なお、図1は、 $\Delta n$ が適正な場合の図である。この場合には、伝搬光のもれやモード乱れが少ない。一方、図2は、屈折率変化 $\Delta n$ が大きすぎる場合の模式図である。この場合は、導波光の閉じ込めが強すぎ、伝搬光のもれやモード乱れが生じやすくなる。 $\Delta n$ の制御は、伝搬光や屈折率分布をモニタすることにより適正に行うことができる。あるいは、屈折率変化が適当な値で飽和する材料を用いれば、モニタは不要となり、簡便に導波路を形成することができる。

【0013】図3は、2個の光源1から光を供給する例を示す模式図である。それぞれの光源からの光により形成される屈折率の井戸（高屈折率部が井戸の低い側）に互いに他を呼び込み、最終的に曲がり導波路3が光屈折率材料2中に自動的に形成される。図27および図28に、その様子を2次元空間でシミュレーションした結果を示す〔導波路屈折率：1.61、クラッド屈折率：1.60、3ステップ露光、ピークパワー1、幅3.6 $\mu$ mのガウシアンビーム入力、1ステップ当たりの屈折率変化 $\Delta n = 0.003p$ （ $p$ は光パワー）として計算〕。これらの図は、図29と同様に、ビームプロパゲーションメソッド（BPM）を用いて得られたものであり、上側は屈折率分布を示し、下側は光パワー伝播を示す。伝播光は波長1.3 $\mu$ mで、左から右に伝播している。2本の光ファイバを対向させてギャップ400 $\mu$ mあけて設置し、前述の光屈折率材料をその間に満たした。ファイバの軸のずれを、0 $\mu$ mおよび4 $\mu$ mとしたものに対して、光結合効率（波長1.3 $\mu$ mの光）を測定した。書き込みは、前記のUV硬化用ランプによった。40nWの光を両側のファイバから出射させ、両側書き込みを行った場合は、軸ずれ0 $\mu$ mおよび4 $\mu$ mとも80%~90%以上の結合効率を得た一方、片側書き込みの場合は、軸ずれ0 $\mu$ mでは80%以上となるが、4 $\mu$ mでは約60~50%となり、明らかに両側書き込み方式（SOLNET）が優れていることが実証された。

【0014】図3は、上記と同様に、 $\Delta n$ が適正な場合の図であり、伝搬光のもれやモード乱れが少ない。図4は、屈折率変化 $\Delta n$ が大きすぎる場合の模式図であり、導波光の閉じ込めが強すぎ、伝搬光のもれやモード乱れが生じやすくなる。この場合もまた、 $\Delta n$ の制御は伝搬光や屈折率分布をモニタすることにより適正に行うことができるが、屈折率変化が適当な値で飽和する材料を用いればモニタは不要となり、簡便に導波路を形成することができる。

【0015】屈折率変化が適当な値で飽和する材料としては、例えば、図5（a）に示すように、低屈折率ホストマトリクス中に高屈折率モノマが分散されている材料がある。かかる材料を露光し、光重合が生じると、図5（b）示すように、光重合部へ高屈折率モノマが移動

し、その結果重合部の屈折率は $n^+$ となり、その周辺部の屈折率は $n^-$ となる。屈折率変化 $\Delta n$ の飽和値は、高屈折率モノマの移動数( $N_h$ )、その際に押し退けられた低屈折率ホストマトリックスの移動数( $N_l$ )、高屈折率モノマの屈折率( $n_h$ )および低屈折率ホストマトリックスの屈折率( $n_l$ )に関係し、

$$\Delta n = n^+ - n^- = 2(n_h N_h - n_l N_l)$$

となる。従って、これら値を適当に選ぶことにより、 $\Delta n$ の飽和値をコントロールすることができる。

【0016】図6には、光屈折率材料中に増感色素などの書き込み光を吸収する物質が存在する場合の例を模式的に示す。光の強い領域ほど光吸収物質の変質ブリーチングが顕著になり、その領域で光はよく伝搬する。従って、周囲への書き込み光のもれ量が相対的に減り、導波路が比較的直線的に成長する。そして、さらに、双方からの導波路の衝突の際に滑らかな連結が行われる。

【0017】図7は、上記と同じ手法により、2つの導波路からなる光源から書き込み光を出射し、曲がり導波路3を作製する例である。図8は、同じ手法で、光回路表面側からのビームと導波路を結び、Z-軸導波路を作成する例である。図9は、空間ビームの間に配置した光屈折率材料2に導波路3を形成する例である。これにより、空間ビームを介して、導光および結合ができるスペースビームカップラが実現できる。それぞれの光は同時に照射されてもよく、または交互に照射されてもよい。また、図10に示すような、レーザダイオード(LD)または導波路4とファイバ5間にこの方法により導波路3を形成した導波路カップラも例として挙げられる。

【0018】図11は、図3に示した例において、それぞれの光源から出射される光の中心線の交差角 $\theta$ に対する光の結合効率の依存性を示す図である(ただし、2次元平面内での結果である)。また、図12は、図10に示した例において、それぞれの光源から出射される光の中心線のずれ距離 $\Delta x$ に対する光の結合効率の依存性を示す図である(これも2次元平面内での結果である)。図11および12の計算の条件は、図27、28および29の計算の場合と同じである。また、図13(a)および13(b)は、より詳細に計算を行い、dB表示で示した結果である。図中、Butt jointは光導波路(ファイバ)突きあてを意味する。また、ここでは、SOLNETは両側書き込み、SELPITは片側書き込みを意味し、またSELPITはセルフフォーカスを利用しない場合であり、SELPIT(SF)はセルフフォーカスを利用した場合である。SELPIT(SF)は、本来SOLNETの1種と見做すことができるが、ここでは片側と両側との区別をするため、特に上記のように記した。これらの図において、SOLNETは、上記本発明例により得られた光結合器を示し、SELPITは従来例の光結合器を示す。これらの図から、SOLNETが高結合効率かつ高トレランスの特長

を有することがわかる。これは前述した、両側書き込み方式のSOLNETが優れているという実験結果を裏づけるものである。

【0019】さらに、3つ以上の光源ビームを使用する例を図14、15および16に示す。これらは、それぞれ、Y分岐導波路6、スターカップラ7および交差導波路8を形成するものである。さらに、同じ手法により、図17に示すような空間導波路、図18に示すような波長 $\lambda_1$ の光と波長 $\lambda_2$ の光に対する波長フィルタ、図19に示すようなマルチモード(MM)とシングルモード(SM)間のモード変換器などの多様なデバイスを形成することができる。図17の例では、レーザダイオード(LD)からの光が光屈折率材料2中に入射され、ミラー、ホログラム、グレーティング等により反射されて、フォトダイオード(PD)で受光される間に、光屈折率材料2中に空間導波路3が形成される。LDに限らず、種々の光デバイスからの光の入射により、同様のことが可能である。

【0020】上記の種々のデバイスの形成において、光源の光出射端と光屈折率材料とは接していてもよく、あるいは接していなくてもよい。また、上記の例において、光屈折率材料のかわりに感光材料を用いてもよい。感光材料を用いる場合、可溶部をエッチングしてもよく、さらにそれを他の材料でカバーしてもよい。

【0021】上記は本発明に係る光導波路系の形成方法の一例を説明するものであり、光源もしくはビーム源としては、光導波路のほか、光ファイバ、半導体レーザ、発光ダイオード、フォトダイオード、レンズ、ホログラム、プリズム、ミラー、ピンホール、スリット、グレーティングなど、光を供給できるものであればいかなるものを用いてもよい。ただし、半導体レーザの光を直接用いる場合には、光屈折率材料もしくは感光材料が赤から赤外領域にかけての感度を有することが必要である。導波路などのパッシブなデバイスを使用する場合には、そこを通す光と材料の分光感度がマッチしていればよい。一般には、白色光や赤、緑から紫外領域にかけての光を利用する場合が多く、従って材料もそのような領域に感度を有するものであるのがよい。

【0022】また、導波路といっても、必ずしも直線的な屈折率分布である必要はなく、屈折率分布の形態は任意であってよく、例えば、テーパ状などの分布であってよい。図20は、ミラー9を介在させて、導波路を自己組織化させる例である。この例では、フォトダイオード(PD)と光導波路1の間に光屈折率材料2が配置され、その中にL字型の導波路3が形成される。この例において、フォトダイオードのかわりにレーザダイオード(LD)を用いることもできる。この場合、光導波路1とレーザダイオード(LD)の両方から光を出射させてもよい。本発明の方法に従えば、このようにして、光SMT(光表面実装)に大変有効な光導波路を形成するこ

とができる。さらに、上記において、ミラーのかわりに、光が通過する領域の全部または少なくとも一部に、グレーティング、ホログラム、プリズム、レンズ、導波路、ピンホール、スリット等を配置し、導波路の自己組織化を行うこともできる。

【0023】本発明の方法に有用な光屈折率材料としては、例えば、アクリル系バインダやエポキシ系バインダ（ポリマ、オリゴマもしくはモノマ）に高屈折率なビニルカルバゾールモノマなどを添加し、さらに増感材、重合開始材などを添加したフォトリソグラフィー材料を用いることができる。かかる材料では、光照射部の屈折率が高くなる。また、感度は通常300～700nmにある。また、紫外（UV）光照射や加熱処理により、硬化度や安定度の増強が可能である。もちろん、材料は、これに限定されるものではなく、他のポリマやガラスなど、光照射で屈折率に変化するものであればいかなるものであってもよい。また、通常の書き換え可能なフォトリソグラフィック材料であれば、書き換えも可能になる。また、増感剤を添加して、長波長増感を行ってもよい。

【0024】本発明においては、光屈折率材料のかわりに、光照射により不溶化（硬化）する感光材料を用いてもよい。かかる感光材料を局部的に不溶化した後、現像すると、材料は導波路の形状で残留する。このとき、現像後に、空洞部を屈折率の低い材料で埋めてもよい。また、UV光照射や加熱処理を加えてもよい。これにより、硬化度や安定度の増強が可能である。有用な材料としては、光硬化性の、感光性ポリイミドエポキシ樹脂、感光性ガラスなどを挙げることができる。逆に、光照射により可溶化する感光材料を用いることも可能であるが、この場合には、漏斗状の孔が空く。ここに屈折率の高い材料を注入してカバーすると集光効果を引き出すことができる。

【0025】また、図3～20に関して前述した例は、そのまま光結合器を形成するものでもある。さらに説明するならば、本発明においては、入射する光の波長に自由度を持たせるために、光屈折率材料または感光材料に照射する光として、LD、LED、導波路レーザ／光アンプなどの光デバイスそれ自体が発生する光を用いることができる。また、光屈折率材料または感光材料に照射する光として、光デバイスに外部から導入された光を用いてもよい。あるいは、かかる照射光として、光デバイスに外部から導入された光により光デバイス内に発生した光や、光デバイスに外部から光を照射し、これにより光デバイス内に発生した光を用いてもよく、このような光の利用は、例えば、光デバイスの一部または全部に蛍光色素や無機蛍光物質、LD光観測用ホスファなど2光子吸収蛍光物質、希土類イオンなどのアップコンバージョン物質およびSHG物質から選ばれた物質を含有させ、励起光により発光を生じさせることにより可能になる。また、ガラス導波路やポリマ導波路への紫外光照射

により蛍光が生じる場合があるので、これを利用することもできる。さらに、かかる照射光として、光屈折率材料または感光材料の一部または全部に蛍光物質、2光子吸収蛍光物質、アップコンバージョン物質およびSHG物質から選ばれた物質を含有させ、光デバイスからの励起光により生じた発光を用いることもできる。

【0026】また、特に、LD／ファイバまたは導波路間結合を行う際に、光屈折率材料または感光材料の感度がLD光領域にない場合もある。その対策として、例えば、図21に示すように、照射する光を、レーザダイオード（LD）端面のLD光出射領域またはそれとほぼ同じ領域から選択的に反射させ、進行光と反射光の相互作用により導波路形成もしくは導波路結合を行わせることができる。例えば、誘電体多層ミラーなどの反射膜をLD光出射領域に形成し、緑～紫外領域の感度の高い波長領域の光を反射させるのである。あるいは、図22に示すように、吸収膜をレーザダイオード（LD）端面のLD光出射領域以外またはこのLD端面のLD光出射領域とほぼ同じ領域以外の領域に形成することによっても同様の効果がえられる。かかる反射膜や吸収膜の形成は、通常のフォトリソグラフィ技術のほか、例えば、LD光により感光する感光膜を用いたセルフアラインエッチングやリフトオフにより行うことができる。また、レーザによる薄膜の除去などによってもよい。さらに、これらの例においては、ファイバまたは導波路10の端面またはその付近にマイクロレンズ11を形成してもよく（図23、24）、あるいはファイバまたは導波路10の端面またはその付近をせん球形状12としてもよい（図25、26）。本発明の他の態様においては、光屈折率材料や感光材料を用いて、以下のような技術的課題が解決される。

【0027】光入射により自動的に導波路を掘り進む方法とそれにより形成されるデバイスや、いくつかの導波路を自然に合体させるなどして、導波路回路網を作る方法とそれにより形成されるデバイスなどの、自由度の高い光導波路もしくは屈折率分布およびその作製方法を提供する。上記のような導波路またはレンズなどの屈折率分布の自動形成を用いたセルフアライン光結合において、2波長または3波長以上の光の重畳により屈折率変化や硬化反応を生じさせ、自由度の高い導波路、屈折率分布や光結合器などの光デバイスを提供する。

【0028】さらに、1.3μm、1.5μm帯の赤外光感度をもった材料の選択幅をもたせる。この態様により、位置決め精度がラフであっても、導波路間接合が自動的に合うとともに、形状の自由度が大きい、導波路を初めとする各種光デバイス、セルフアライン（または無調整）光結合器およびそれらの作製方法、さらにLD波長に感度を持つ光屈折率材料または感光材料を用いた、導波路を初めとする各種光デバイス、セルフアライン光結合器およびそれらの作製方法を実現することがで

きる。

【0029】すなわち、本発明のこの態様によれば、光照射により屈折率が変化する光屈折率材料に光を照射し、セルフフォーカシングを励起しながら屈折率分布を形成することにより、光デバイスを作製する方法が提供される。また、光照射により屈折率が変化するとともに硬化して不溶化する感光材料に光を照射し、セルフフォーカシングを励起するとともにこの感光材料を不溶化させながら屈折率分布を形成することにより、光デバイスを作製する方法が提供される。

【0030】さらに、上記の手段を用いて光結合を行い、光結合器もしくは光導波路網を形成することができる。また、複数の波長の光を用いて、上記のような各種の応用が可能である。かかる本発明について、以下に、説明する。図30～33に2波長書き込みによる導波路作製、屈折率分布作製および光結合器作製の例を示す。2つの導波路間に波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の光が重畳すると各波長の単独照射で生じる屈折率変化の和より大きな変化が生じるような屈折率が高くなる光屈折率材料を置く。導波路の一方から波長 $\lambda_1$ の光を出射し、他方から波長 $\lambda_2$ の光を出射する。その結果、図30～33に模式的に示すような屈折率変化が生じ、波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の光の重畳部分を中心に導波路が形成される。ここで、これらの屈折率分布は、各導波路に中心を置くGRINレンズと見なせる場合もある。光屈折率材料の波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ に対する吸光度の大小により、例えば図30～33に示すような種々の過程をとる場合がある。ここで形成された導波路は、2つの導波路を結ぶセルフアライン光結合器にもなっている。このことは、以下の実施例に共通して言える。光の波長分布は必ずしも単色性がある必要はなく、幅を持った波長帯であってもよい。本明細書においては、 $\lambda$ はこのような意味で用いられる。なお、図30は $\lambda_1$ および $\lambda_2$ がともに低吸収である場合、図31は $\lambda_1$ が低吸収であり、 $\lambda_2$ が高吸収である場合、図32は $\lambda_1$ が高吸収であり、 $\lambda_2$ が低吸収である場合、そして図33は $\lambda_1$ および $\lambda_2$ がともに高吸収である場合を示す。

【0031】図34～37は、セルフフォーカス効果を利用した場合(SOLNET: Self-Organized Lightwave Network)の例である。光強度の強い部分に自然に光が集中してくるため、セルフフォーカス効果を利用しない図30～33の場合に比べて、線状のきれいな導波路が形成できる。また、少なくとも2つ以上の光同士が、光により形成される屈折率変化で互いに影響を及ぼし合うような配置で設けることにより、各導波路から出射した光同士が互いに引きつけあう。この効果により、導波路形成が1波長の場合に比べてスムーズにかつ効率良く行われる。これらの図において、図34は $\lambda_1$ および $\lambda_2$ がともに低吸収である場合、図35は $\lambda_1$ が低吸収であり、 $\lambda_2$ が高吸収である場合、図36は $\lambda_1$ が高吸収であ

り、 $\lambda_2$ が低吸収である場合、そして図37は $\lambda_1$ および $\lambda_2$ がともに高吸収である場合を示す。

【0032】図38～40は、導波路からの出射光に加えて、外部からの照射光を用いる例である。導波路からの出射光および外部光にそれぞれ波長 $\lambda_1$ または $\lambda_2$ のいずれかの光を割り当て、これらの光の重畳部を中心に屈折率変化を生じさせる。この場合には屈折率変化を生じさせる場所を外部から選択でき、また両導波路からの出射光として同一の波長の光を使用できるなどのメリットがある。

【0033】ここで、2つの導波路の代わりに、3つ以上の導波路を用いてもよい。導波路作製の光は、導波路のみでなく、他の光デバイス、例えば、光ファイバ、半導体レーザ、発光ダイオード、フォトダイオード、レンズ、ホログラム、プリズム、グレーティング、ミラー、ピンホール、スリットなどであってもよい。また、波長も2つに限ることなく、3つ以上の波長の光の重畳を利用することもできる。光照射は、同時にまたは時間を変えて行うことができる。

【0034】図41～43および図44～46は、外部からの照射光としてスポット光またはパターン化した光を用いる例を模式的に示すものである。このような照射光を移動させることにより自由な形で屈折率パターンを形成することができ、導波路、レンズ、ミラー、グレーティング、プリズム、ホログラム、ピンホール、スリットなどの各種の光デバイスを形成することができる。図41～43は、波長 $\lambda_1$ の光に対して低吸収である場合を示しているが、低吸収でなくても同様のことが行える。図41～43は、光導波路の描画および光結合器の作製の例を示すものである。この場合、一方の書き込み光は、導波路の端面付近にしか存在しないため、導波路と書き込まれた導波路は自動的に繋がることになる。図43に示すように、端面付近でビーム幅を広げることにより2つの導波路の連結がよりしやすくなる。図45の左側および中央は、一方の光を全面照射し、他方の光をスポット化し、スキャンして導波路を作製する場合である。図45の右側は、一方の光を側面から照射し、膜厚方向の位置を制御する場合である。図46は、一方の光が導波路端面に接近したときには導波路から他方の光を出射し、それ以外のときには外部光(膜の表または裏または横から導入される光)として他方の光を照射し、導波路書き込みパターンの自由度の増大と導波路連結の精度の向上を測っている例である。図42、図45中央および図46に示す例は、3波長の光を使用したものであり、3次元的な屈折率分布の制御がし易くなる。そして、これにより、厚さ方向のZ軸導波路や深さに変化を持たせた導波路などを提供できるようになる。

【0035】複数の光を使用する場合は、互いに異なる波長の光を用いてもよいし、場合によっては同一の波長の光を2つ以上用いてもよい。光が通過する領域の全部

または少なくとも一部に、ミラー、グレーティング、ホログラム、プリズム、レンズ、導波路、ピンホールまたはスリットを配置することも可能である。

【0036】さらに、前述した如き方法により、曲がり導波路、空間ビームと導波路の結合、空間ビーム間を結合するスペースビームカップラなどが実現できる。光は、同時に照射されてもよく、または交互に照射されてもよい。また、LD/ファイバまたは導波路のカップラも例として挙げられることは前述した記載から明らかである。

【0037】また、3つ以上のビームを使用し、Y分岐、スターカップラ、交差導波路なども形成できる。さらに、スペース導波路、波長フィルタ、モード変換器などの多様なデバイスが実現できる。光出射端と光屈折率材料は接していても、接していなくてもよい。光屈折率材料のかわりに感光材料を用いてもよい。感光材料を用いた場合、可溶部をエッチングしてもよい。さらに、それをカバーしてもよい。

【0038】光の供給源は、光導波路、光ファイバ、半導体レーザ、発光ダイオード、フットダイオード、レンズ、ホログラム、プリズム、グレーティングなど、光を供給できるものであれば何であってもよい。ただし、半導体レーザの光を直接用いる場合には、材料が赤色から赤外にかけての光に対して感度を有することが必要である。導波路などのパッシブなデバイスを使用する場合には、そこを通す光と材料の分光感度のマッチングがあればよい。

【0039】ミラーを介在させ、PDと導波路の間に光屈折率材料を形成し、その中に導波路を形成することもできる。導波路とLDを同様に結合することもできる。その際、導波路とLDの両方から光を出すと、図44～46に示したのと類似の効果で図20に示すような導波路が形成できる。すなわち、これにより、光SMT（光表面実装）に極めて有効な光導波路が形成できる。さらに、ミラーの代わりに、光が通過する領域の全部または少なくとも一部に、グレーティング、ホログラム、プリズム、レンズ、導波路、ピンホールまたはスリットを配置してもよい。

【0040】多準位励起 (Multi-Photon Excitation) を実現する方法の例として、図47および48に示すように、光屈折率材料または感光材料が、ひとつの波長 ( $\lambda_1$ ) の光で励起状態に励起され、さらにその状態から他の波長 ( $\lambda_2$ ) の光で他の状態に励起される物質、あるいはひとつの波長 ( $\lambda_1$ ) の光で励起状態に励起され、その状態から他の状態に移り、他の波長 ( $\lambda_2$ ) の光でさらに他の状態に励起される物質により反応を生じさせる方法がある。具体例としては、例えば、IBM J. RE S. DEVELOP VOL. 26 (1982) 217. や、米国特許第4571377号明細書に記載されているような増感材料がある。すなわち、 $\alpha$ -ジケトン（ジアセチル、ベンジル、

カンファキノン）、テトラジン、ジメチル-s-テトラジン、カルバゾール、ベンゾフェノン、オキシラン、テトラフェニルオキシランやドナー分子、例えば9, 10-ジプロモアントラセン、プロトボルフィンIXジメチルエステル、ベンジルまたはテトラフェニルボルフィリンとアクセプタ分子、例えばナフタレンスルホンクロリド、 $\alpha$ -クロロメチルナフタレンまたはキノリンスルホンクロリドの組み合わせなどが例示される。ここで、アクセプタは、重合などの反応開始剤として作用することもある。

【0041】ドナーとしてエーテルなどを用い、アクセプタとしてTCNBを用いることも可能である (K. Kimura, Reviews of Chemical Intermediates Vol. 2, Verlag Chem GmbH (1979) p. 321)。これらを、ポリマ、オリゴマ、モノマまたはそれらの混合からなるマトリクスに添加もしくは付加したもの、さらに重合開始剤や他の高屈折率もしくは低屈折率モノマを添加もしくは付加したものを光屈折率材料とすることができる。例えば、ポリ（メチル-、エチル-もしくはイソブチル-シアノアクリレート）中のジアセチル-、ベンジル-もしくはカンファキノン-ジケトンやポリ（メチルメタクリレート）中のピアセチル-、ベンジル-もしくはカンファキノン-ジケトンでは300～500nmの光と700～1100nmの光、ポリ（メチルメタクリレート）中のカルバゾールでは300～330nmの光と400～430nmの光およびポリ（ビニルカルバゾール）中のジメチル-s-テトラジンでは488nmの光の2光子の重畳により、残留モノマが反応して、屈折率変化を生じる。その他のエポキシ系マトリクスなども使用可能である。また、上述のドナー/アクセプタの組み合わせを、メチルメタクリレート、ビニル、エポキシ、アクリル、アルキルアクリレート・メタクリレート、ヒドロキシアクリレート・メタクリレート、グリコールアクリレート・メタクリレート、アリルアクリレート・メタクリレート、エポキシアクリレート・メタクリレート、アミノプラストアクリレート・メタクリレートなどのポリマ、オリゴマ、モノマやこれらの混合物に添加した材料も2光子または2波長用材料として使用可能である。さらに、これらに、ビニルカルバゾールなどの高屈折率モノマや重合開始剤を添加すると、屈折率変化の速度や大きさを増すことができる。その他の4-レベル2-準位の光化学材料、3-レベル2-準位の光化学材料などの多準位材料を含む光屈折率材料を用いてもよい。ポリ（メチル-、エチル-もしくはイソブチル-シアノアクリレート）中のジアセチル-、ベンジル-もしくはカンファキノン-ジケトンやポリ（メチルメタクリレート）中のジアセチル-、ベンジル-もしくはカンファキノン-ジケトンでは700～1100nmの光に感じるため、半導体レーザが使用できるというメリットもある。

【0042】これらの材料は、UV光の照射や加熱処理



を行うことにより、硬化度および安定度を増強することが可能である。材料としては、これらに限られることなく、他のポリマやガラスなどのように、多波長の重畳光照射で屈折率が変化するものであればいかなるものであってもよい。フォトポリマの代わりに、光照射により不溶化（硬化）する感光材料を用いる場合には、例えば、前記のような多単位プロセスを生じる物質を添加し、多波長の重畳光照射で硬化反応を生じさせればよい。感光材料を局部的に不溶化した後、現像すると、導波路形状の材料が残る。さらに、空洞部を屈折率の低い材料で埋めてもよい。また、UV光の照射または加熱処理を加えてもよい。これにより、硬化度および安定度の増強が可能である。逆に、光照射により可溶化する感光材料を用いた場合は、光照射部に孔があく。この孔に、屈折率の高い材料を注入してカバーすると集光効果を引き出すことができる。かかる材料としては、光硬化性、感光性ポリイミド・エポキシ樹脂、感光性ガラスなどのように、光照射で可溶化もしくは不溶化するものであればいかなるものであってもよい。

【0043】また、書込み光の波長に自由度を持たせるために、光屈折率材料または感光材料に照射する光として、光デバイスそれ自体が発生する光を用いるのがよい。これは、LD、LED、導波路レーザ・光アンプなどに応用することができる。あるいは、光屈折率材料または感光材料に照射する光として、光デバイスに外部から導入された光、光デバイスに外部から導入された光により光デバイス内に発生した光、光デバイスに外部から光を照射し、これにより光デバイス内に発生した光またはこれらの光の組み合わせを用いることもできる。

【0044】これらのうち、光デバイスに外部から導入された光により光デバイス内に発生した光および光デバイスに外部から光を照射し、これにより光デバイス内に発生した光は、例えば、光デバイスの一部または全部に蛍光色素や無機蛍光物質、LD光観測用ホスファなど2光子吸収蛍光物質、希土類イオンなどのアップコンバージョン物質およびSHG物質から選ばれた物質を含有させ、励起光により発光を生じさせることにより得ることができる。ガラスやポリマ導波路のように、もともと発光性の材料では、光デバイスの一部または全部に励起光を照射し、発光を生じさせることもできる。

【0045】あるいは、光屈折率材料または感光材料に照射する光として、前記材料の一部または全部に蛍光物質、2光子吸収蛍光物質、アップコンバージョン物質およびSHG物質から選ばれた物質を含有させ、光デバイスからの励起光により生じた発光を用いることもできる。また、特に、LD/ファイバまたは導波路間の結合を行う際に、光屈折率材料または感光材料の感度がLD光領域にない場合もある。その対策として、例えば、図21に示すように、照射する光が、LDのLD光出射領域またはそれとほぼ同じ領域から、選択的に反射され、

進行光と反射光の相互作用によりSOLNETを作製するようにすることができる。誘電体多層ミラーなどで、例えば、緑～UV領域の感度の高い波長領域の光を反射させることができる。あるいは、図22に示すように、吸収膜をLDのLD光出射領域以外またはこのLDのLD光出射領域とほぼ同じ領域以外の領域に形成することによっても同様の効果がえられる。膜のパターンニングは、通常のフォトリソグラフィのほか、LD光により感光する感光膜を用いた、セルフアラインエッチングやリフトオフでも可能である。

【0046】この場合、ファイバまたは導波路端面またはその付近にマイクロレンズを形成してもよく、あるいはせん球形状としてもよい。また、LD/ファイバまたはLD/導波路間の結合を行う他の例として、光励起による書込み波長の光の発光放射を利用することも可能である。その例を図49に示す。例えば、LDのLD光出射領域またはそれとほぼ同じ領域に発光膜を形成し、導波路またはファイバ側から波長 $\lambda_1$ の光を照射する。発光膜に波長 $\lambda_1$ の光が照射されると波長 $\lambda_2$ の光が発光し、放射される。その結果、LDから $\lambda_2$ の光が出射し、導波路またはファイバから $\lambda_1$ の光が出射したのと同様な状況が得られる。他の例として、外部光を $\lambda_1$ の光とし、導波路またはファイバから $\lambda_2$ の光を出射させる方法がある。その結果、LDから $\lambda_2$ の光が出射し、導波路またはファイバから $\lambda_2$ の光が出射したのと同様な状況が得られる。LD側と導波路またはファイバ側の両方に発光膜を形成した場合は、外部から $\lambda_1$ の光を照射すると $\lambda_2$ の光が放射され、LDから $\lambda_2$ の光が出射し、導波路またはファイバから $\lambda_2$ の光が出射したのと同様な状況が得られる。ここで、各発光膜として、各種蛍光材料の中から選択し、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の光を放射する材料を用いることにより、LDから $\lambda_1$ の光が出射し、導波路またはファイバから $\lambda_2$ の光が出射したのと同様な状況を得ることも可能である。これまでの例において、 $\lambda_1$ の光と $\lambda_2$ の光を入れ替えてもよいことは言うまでもない。また、発光させるための照射光として、励起専用の波長 $\lambda_e$ の光を含ませてもよい。

【0047】この場合も、また、ファイバまたは導波路端面またはその付近にマイクロレンズを形成してもよく、あるいはせん球形状としてもよい。ここで、LD/導波路またはファイバ間の結合のみに限定されることなく、導波路/ファイバ間の結合や、さらには導波路/PD間の結合などの、両側書き込みが必要な場合には、上記の手法を用いることができる。

【0048】図50は、LD結合のモニタ法の例を示す図である。LDとファイバ（または導波路）の間に光屈折率材料または感光材料が配置されている。LDとファイバ（または導波路）から書込み光を出射させる。ここで、結合効率をLD書込み光の強さを、図示したような分岐を用いてモニタすることにより、簡単に結合の最適



状態を把握することができる。本発明のセルフアライン光結合法においては、また、下記のような態様を用いることができる。

【0049】すなわち、複数個の光デバイスの間の全部または一部に光屈折率材料を配置し、この屈折率材料に複数個の光デバイスから光を照射して屈折率分布を付与することにより、光デバイス間の光結合を行うセルフアライン光結合において、一方のデバイスからの出射光により形成された屈折率分布により、他方のデバイスからの出射光が引き寄せられ、これにより屈折率分布を形成して、デバイス間の結合路を形成するのである。

【0050】あるいは、複数個の光デバイスの間の全部または一部に光屈折率材料を配置し、この屈折率材料に光デバイスから光を照射して屈折率分布を付与することにより、光デバイス間の光結合を行うセルフアライン光結合において、出射端のモードフィールドサイズが小さいデバイスからの出射光により屈折率分布を形成して、デバイス間の結合路を形成することもできる。

【0051】また、複数個の光デバイスの間の全部または一部に光屈折率材料を配置し、この屈折率材料に複数個の光デバイスから光を照射して屈折率分布を付与することにより、光デバイス間の光結合を行うセルフアライン光結合において、少なくとも2つ以上の光デバイスにおいて出射光の波長が異なる光を用いてもよい。また、上記において、光屈折率材料に代えて感光材料を用いてもよい。

【0052】かかる本発明の方法によれば、出射角の大きい光でできた屈折率分布により他方の光を呼び込み（呼び水方式）、これにより光デバイス間の結合効率を上げることができるという効果が得られる。また、モード径の小さい側から出射させてモードフィールドを拡大させ、結合効率を上げることができ、増感領域の波長または開始剤やモノマの感度領域を合わせることで、異なる波長の各光デバイスからの出射光を用いることが可能となる。

【0053】図51に呼び水方式による方法の例を模式的に示す。出射角の大きい光でできた屈折率分布で他方の光を呼び込み、光デバイス間の結合効率を上げるものである。この図は概念的なものであり、LD側からの書き込み分布をセルフフォーカスによりより直線的にすることも可能である。例えば、680nmのLDとシングルモードファイバとの間の結合を行う場合を例として説明する。図56(a)、56(b)および56(c)は、結合実験の結果を示すグラフである。これらのLDとシングルモードファイバとを300、100および40μmの間隔で対向させ、その間を光屈折率材料で満たす。材料としては、例えば、エポキシ系のマトリクスにビニルカルバゾール、重合開始剤、赤色増感色素などを混合したものが使用できる。LDを発光(200μW以下)させ、同時にファイバからHe-Neレーザ光(633

nm、20μW)を出射させた結果、ギャップが100μmの場合には図56(b)に示すような効率の上昇が認められ、8%の結合効率を得られた。ギャップが300μmの場合にも図56(a)に示すように結合効率は約0.1%であったものが両側からの書き込みにより4%まで向上する。ここではLDの光の方が広がり角が大きい( $\theta_p = 11^\circ$ ,  $\theta_v = 17^\circ$ )。ここで、LDから光出射した後He-Neレーザから光出射してもよい。あるいは、これを繰り返すこともできる。光はCWのみならず、パルス列でもよい。この場合、デューティ比を変化させて、実効的な光強度を制御することもできる。屈折率分布書き込みする際に、書き込み光に強度変調をかけることができる。例えば、デューティ比10:1のパルス列にすれば、実効的な光強度を1/10に低減できる。この手法は特に、LD光で書き込みを行う場合のように、光強度を自由に換えられないような状況で有利となる。

【0054】図52に、上記と同様の条件でLDのみから光を出射させて書き込む方法の例を模式的に示す。LDからの書き込みにより、テーパ状の屈折率分布の形成が可能である。この分布は、セルフフォーカスを含まない結果得られたものでもよいが、セルフフォーカス効果の結果得られたものの方が好ましい。また、セルフフォーカス効果を一部に含む結果として得られたものであってもよい。ファイバの導波光のモードフィールド径よりもLDのその方が小さい。この場合、ギャップの100μmでは、図56(b)に示すように、書き込みとともに効率が上昇し、16%の結合効率を得られた。LDのモードサイズが屈折率分布により拡大され、結合効率が向上するものと考えられる。さらにギャップを40μmにすると、図56(c)に示すように、結合効率は35%まで上昇した。ここで、かならずしも直線的な導波路ができる必要はなく、セルフフォーカシングの結果生じる集光性の屈折率分布(例えばテーパ形状など)ができれば導波路の役目を果たすことができる(例えば図53)。

【0055】なお、図56(a)~56(c)に示すように、ファイバ側片側からの書き込みでは、結合効率の上昇はほとんどなく(図56(a)、56(b))、上記の2方法に比して、効果が小さいといえる。図57

(a)および57(b)に、両側書き込み方式とLD側片側書き込み方式との比較を示した。コレラは両側書き込みSOLNETの1つである。LD-ファイバ間ギャップが大きくなるほど両側書き込みの効果が大きくなる。結合効率の増加率は、ギャップ300μmでは、LD側片側方式で10倍なのに対し、両側方式では40倍と非常に大きくなっている。これは、LD側片側方式では、LDのビームスポットサイズの拡大効果のみが期待できるのに対し、両側方式では、LDのビームスポットサイズの拡大効果に加えて、互いの光ビームの呼び込み

効果(光ビーム間引力効果)が働くためと考えられる。ギャップが $30\mu\text{m}$ と小さい場合は、両方式とも結合効率の増加率は、小さい。これは、以下のような原因によると思われる。すなわち、両側書き込みによるビームの呼び込み効果は、軸ずれが数 $\mu\text{m}$ の場合には、 $100\mu\text{m}$ 以上の相互作用点が必要であり $30\mu\text{m}$ では不十分であること、およびスポットサイズの拡大にも $100\mu\text{m}$ 以上の距離が必要であること、が原因となっていると考えられる。これらの例では、LDからの光の波長 $680\text{nm}$ ( $\lambda 2$ )とファイバからの光の波長 $633\text{nm}$ ( $\lambda 1$ )の2波長を用いた。これらの波長 $\lambda 1$ および $\lambda 2$ の光はともに、赤色増感色素の感度範囲にある(図54)。また、ファイバからの光( $\lambda 1$ )も $680\text{nm}$ としてLDからの光( $\lambda 2$ )と同じ波長を用いてもよい。あるいは、ファイバの出射光( $\lambda 1$ )を、開始剤またはモノマの感度領域の波長を有する青色~紫外の光としてもよい(図55)。

【0056】また、図58に示すように、光デバイスの一方の出射端またはその近傍に蛍光物質を配置し、他方から励起光( $\lambda 1$ )を出射させ、励起光と蛍光( $\lambda 2$ )で屈折率分布を形成することもできる。この場合、通常蛍光の方が励起光より弱いので、感度は蛍光の波長において大きくすることが望ましい。これにより、両側からの書き込みが必要なときにも、片側から光入射すればよいことになり、操作を単純化することができる。蛍光物質としては、蛍光色素を光硬化性物質に分散させたものなどが例示される。また、導波路との結合を考える場合、コアが蛍光性であるときまたは蛍光物質を含有しているときは、蛍光膜が無くても同様のことが可能である。また、前記の赤色増感された光屈折率材料に、He-Ne Laser光( $10\mu\text{W}$ )をコア径 $6\mu\text{m}$ の石英の光ファイバから出射させたところ、光屈折率材料中に、光ファイバコア出射端から伸びた直線導波路が10秒以内に形成されることを観測した。また、可視LDからの同様な書き込みによっても、出射端から導波路やテーパ状の屈折率分布が形成されることを観測した。セルフフォーカス効果により、LDの光が出射端から直線または小さな広がり角で伝播することも観測できた。

【0057】かかる本発明により、各光デバイスからの出射光の広がり角が異なっても、各光デバイスからの出射端のモードフィールド径が異なっても、各光デバイスからの出射光波長が異なっても、位置決め精度がラフであっても、導波路間接合が自動的に合うとともに、形状の自由度が大きい導波路や屈折率分布を初めとする各種光デバイス、位置合わせ精度が緩和された光結合器およびそれらの作製方法を実現できる。本発明により、各光デバイスからの出射光の広がり角が異なっても、各光デバイスからの出射端のモード径が異なっても、各光デバイスからの出射光波長が異なっても、位置決め精度・導波路間接合が自動的に合うと共に、形状の自由度が大き

い導波路を初めとする各種光デバイス、セルフアライン光結合器、およびそれらの作製方法を実現できる。本発明により、各光デバイスからの出射光の広がり角が異なっても、各光デバイスからの出射端のモード径が異なっても、所望のパターンへの変換が簡便に実現でき、デバイス間の光結合効率を向上させられる。また、V溝、凹凸加工など機械的精度の限界による効率低下を緩和・抑制、モジュールの安定化、高自由度で簡便な導波路・結合路の形成が可能となる。図59に、光デバイスをLD(または導波路)とした場合を例にとり、本発明の光結合デバイスの概念を示した。個別チップまたは個別チップ切り出し前のアレイ状態で光屈折率材料をコーティングし、これを露光して屈折率分布を形成する。これにより、デバイス固有の光出射パターンを適正なパターンに変換して出射できる。例えば、LDは $1\mu\text{m}$ 程度のビームサイズであるが、これを $10\mu\text{m}$ 程度まで広げることによりファイバや導波路との光結合が容易化できる。コーティングはデバイスの全部または一部(ただし光出射端にはかかる)に、例えばディッピングやスピンコーティングなどで行える。書き込み光は出射端から出射させる。LDの場合は、これらを駆動し発光させ、書き込み光とすることも可能である。特に、出射光のセルフフォーカス効果を利用して屈折率分布を形成することにより、光の閉じ込め状態が改善され良好な光結合路が形成できる。LDや偏平な導波路のような、円形でないモード形状を、セルフフォーカシングにより円形に近づけることも可能である。光デバイスは、導波路、LDのほか、光ファイバ、発光ダイオード、フォトダイオード、レンズ、ホログラム、プリズム、グレーティング、ミラー、ピンホール、スリットなどであってよい。以下にLD/光屈折率材料の実例を示す。 $680\text{nm}$ のLDに厚さ $100\mu\text{m}$ の光屈折率材料を形成する。材料は例えばエポキシ系のマトリクスにビニルカルバゾール、重合開始剤、赤色増感色素などを混合したものが使用できる。LDを発光(約 $680\text{nm}$ )させ屈折率分布を書き込み、光または熱硬化定着することによりデバイスが作製できる。このデバイスは、シングルモードファイバとの結合効率17%が得られた。おなじ配置で、屈折率分布を形成しなかったLDをファイバ結合させたところ、5%の効率しか得られなかった。LDのモードサイズが屈折率分布により拡大され結合効率が向上すると考えられる。光屈折率材料のかわりに感光材料を用いることもできる。図60および61に、LDウェハにおいて屈折率分布を一括形成する例を示す。LD出射端に溝を形成し、光屈折率材料を配し、LDからの出射光で屈折率分布を形成する。硬化後定着し、LDチップを切り出す。必要ならば、その前にポリマをエッチングし、切断しやすくしてもよい。図61の場合は、材料をウェハ全体に形成しており、これにより、生産性が向上する。図62~64に、光結合モジュールの構造を模式的に示した。図6

2 (a) および 6 2 (b) は、LD/ファイバ (または導波路) 結合モジュールの例である。例えば、Si の V 溝、凹凸付き基板に LD とファイバを固定した後、光屈折率材料を滴下し、LD 側からセルフフォーカス効果による屈折率分布を書き込む (LD とファイバ両側から書き込んでよい)。これを定着固化してモジュールとする。LD の光はファイバの径まで拡大されファイバに効率良く導入される。光屈折率材料は、LD-ファイバ間のみに挿入してもよいし、LD 全体または一部を覆うようにしてもよい。図 6 3 (a) および 6 3 (b) は、PD/ファイバ (または導波路) 結合モジュールの例である。例えば、Si の V 溝、凹凸付き基板に PD とファイバを固定した後、光屈折率材料を滴下し、ファイバ側からセルフフォーカス効果による屈折率分布を書き込む。これを定着固化してモジュールとする。ファイバからの光は、導波され PD に効率良く入射する。光屈折率材料は、PD-ファイバ間のみに挿入してもよいし、PD 全体または一部を覆うようにしてもよい。図 6 4 (a) および 6 4 (b) は、導波路/ファイバ結合モジュールの例である。例えば、Si 上のポリイミド膜を V 溝、凹凸加工し、これに導波路とファイバを固定した後、光屈折率材料を滴下し、導波路とファイバ両側からセルフフォーカス効果による屈折率分布を書き込む。これを定着固化してモジュールとする。導波路-ファイバ間の結合が効率よく行われる。導波路-ファイバ間のみに挿入してもよいし、LD 全体または一部を覆うようにしてもよい。光屈折率材料のかわりに感光材料を用いてもよい。

【0058】

【発明の効果】以上に説明した本発明によれば、光入射によるセルフフォーカスにより自動的に導波路を掘り進ませる方法やセルフフォーカスによる屈折率分布形成の方法とそれにより形成されたデバイス、および光入射によりいくつかの導波路を自動的に合体させるなどして、導波路回路網を作る方法とそれにより形成されたデバイスや、このようにして得られる導波路を用いた位置合わせ精度が緩和された光結合器を実現することができる。

【0059】また、複数の波長の光を用いた手法による、高自由度の光デバイスや光結合の形成の実現ができる。また、モードフィールド形状/サイズの制御、高自由度の導波路などの光デバイスの作製、無調整化光結合などの実現が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明方法の一実施例を示す模式図である。

【図 2】不適切な一例を示す模式図である。

【図 3】本発明方法の他の実施例を示す模式図である。

【図 4】不適切な他の一例を示す模式図である。

【図 5】光屈折率材料における屈折率の変化を説明するための模式図である。

【図 6】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 7】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 8】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 9】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 10】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 11】2つの光源からの出射光の中心線の交差角に対する光結合効率を示すグラフである。

【図 12】2つの光源からの出射光の中心線のずれ距離に対する光結合効率を示すグラフである。

【図 13】図 11 および 図 12 の光結合効率をそれぞれ d B 表示で示したグラフである。

【図 14】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 15】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 16】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 17】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 18】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 19】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 20】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 21】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 22】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 23】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 24】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 25】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 26】本発明方法のさらに他の実施例を示す模式図である。

【図 27】本発明の方法により 2 次元空間内に導波路が形成される様子を BPM によりシミュレーションした結果の図である。

【図 28】本発明の方法により 2 次元空間内に導波路が形成される様子を BPM によりシミュレーションした結果の図である。

【図 29】本発明の方法により 2 次元空間内に導波路が形成される様子を BPM によりシミュレーションした結果の図である。

【図 30】多波長書き込みによる本発明の方法の一例を説

明するための模式図である。

【図 3 1】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 3 2】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 3 3】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 3 4】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 3 5】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 3 6】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 3 7】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 3 8】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 3 9】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 4 0】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 4 1】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 4 2】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 4 3】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 4 4】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 4 5】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 4 6】多波長書き込みによる他の例を説明するための模式図である。

【図 4 7】多準位励起を利用する方法の一例を説明するための模式図である。

【図 4 8】多準位励起を利用する方法の他の例を説明するための模式図である。

【図 4 9】光励起による書き込み波長の光の発光放射を利用する場合の模式図である。

【図 5 0】LD結合のモニタ法の一例を説明するための模式図である。

【図 5 1】出射角の大きい光でできた屈折率分布により他方の光を呼び込む方法の例を示す模式図である。

【図 5 2】LDのみからの出射光で書き込む方法の例を示す模式図である。

【図 5 3】LDのみからの出射光で書き込む方法の他の例を示す模式図である。

【図 5 4】増感剤により感度範囲を調整した例を示す模式図である。

【図 5 5】増感剤により感度範囲を調整した他の例を示す模式図である。

【図 5 6】実施例で得られた結合効率を示すグラフである。

【図 5 7】両側書き込み方式とLD側片側書き込み方式による結合効率を示すグラフである。

【図 5 8】蛍光物質を配置し、その励起光を利用する例を示す模式図である。

【図 5 9】光結合デバイスの概念を示す図である。

【図 6 0】LDウェハに屈折率分布を一括形成する例を示す模式図である。

【図 6 1】LDウェハに屈折率分布を一括形成する他の例を示す模式図である。

【図 6 2】LD/ファイバ結合モジュールの例を示す模式図である。

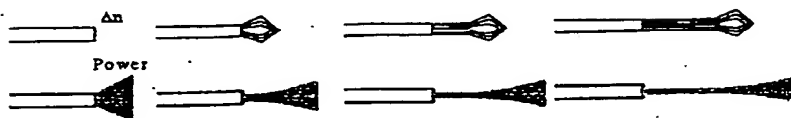
【図 6 3】PD/ファイバ結合モジュールの例を示す模式図である。

【図 6 4】導波路/ファイバ結合モジュールの例を示す模式図である。

【符号の説明】

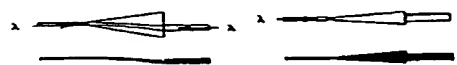
- 1…光源
- 2…光屈折率材料
- 3…導波路
- 4…レーザダイオードまたは光導波路
- 5…ファイバ
- 6…Y分岐導波路
- 7…スターカップラ
- 8…交差導波路
- 9…ミラー
- 10…ファイバまたは光導波路
- 11…マイクロレンズ
- 12…せん球形状

【図 2】

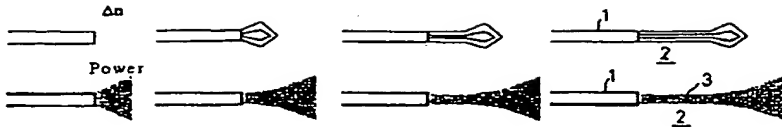


【図 5 1】

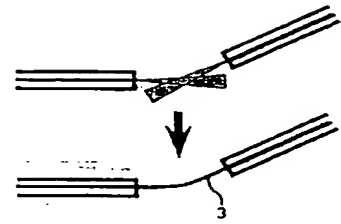
【図 5 2】



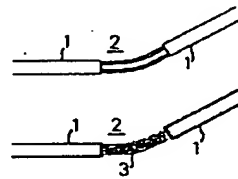
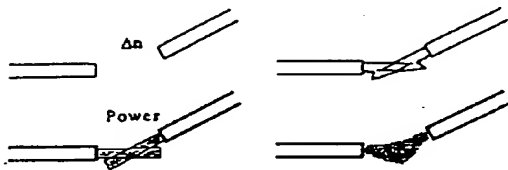
【図 1】



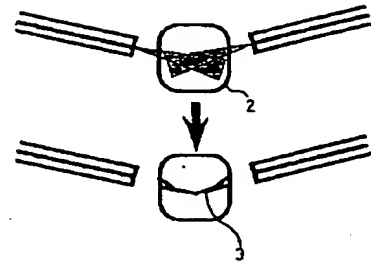
【図 7】



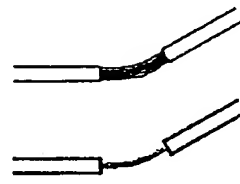
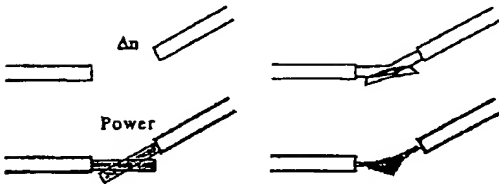
【図 3】



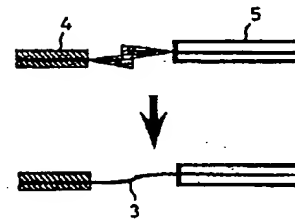
【図 9】



【図 4】

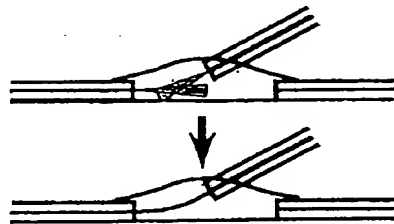
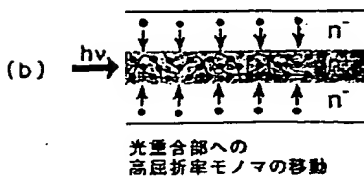
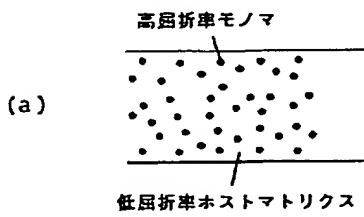


【図 10】

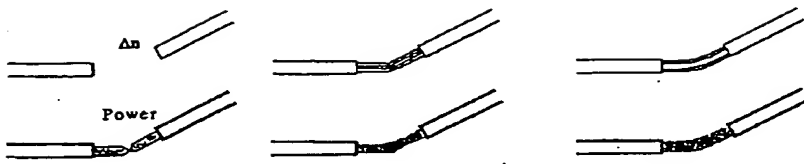


【図 5】

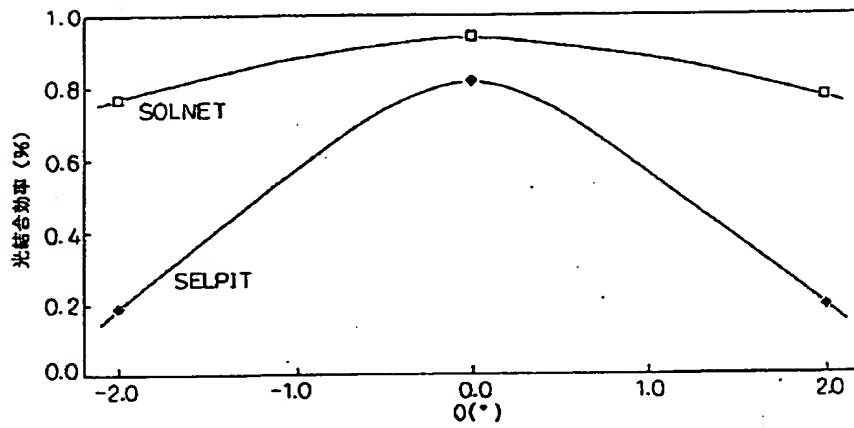
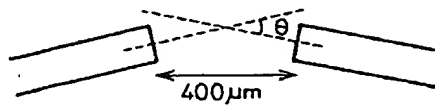
【図 8】



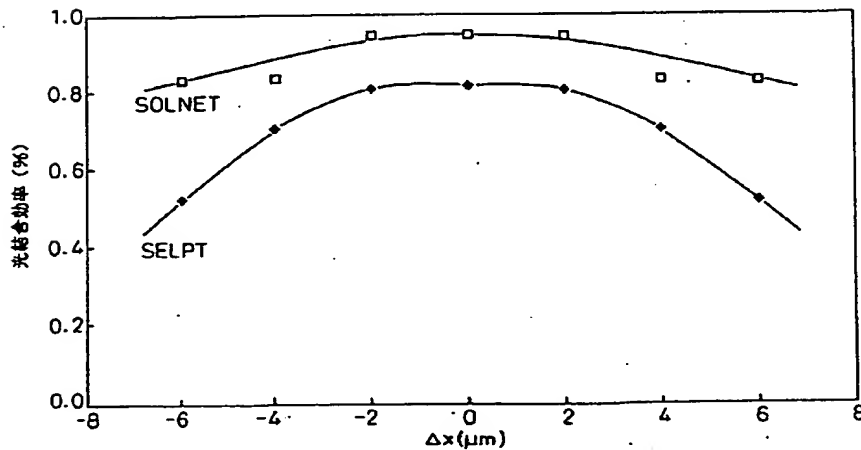
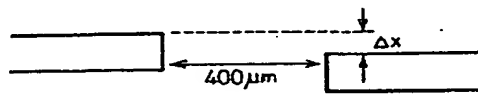
【図 6】



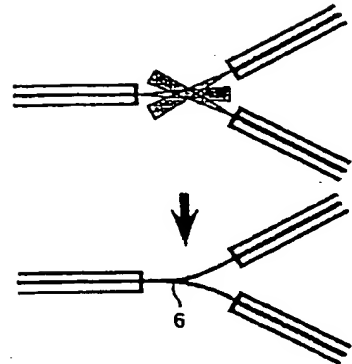
【図 11】



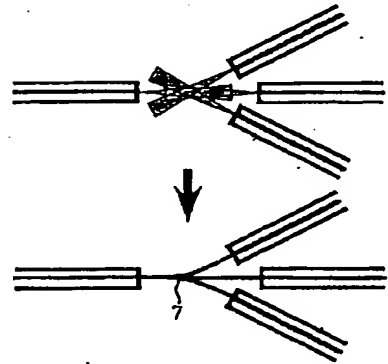
【図 12】



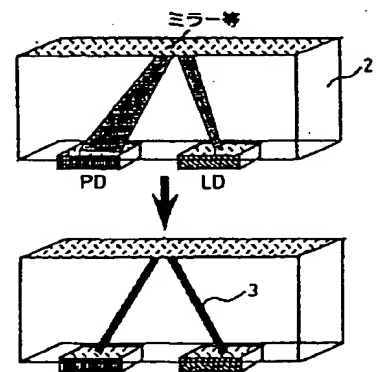
【図 14】



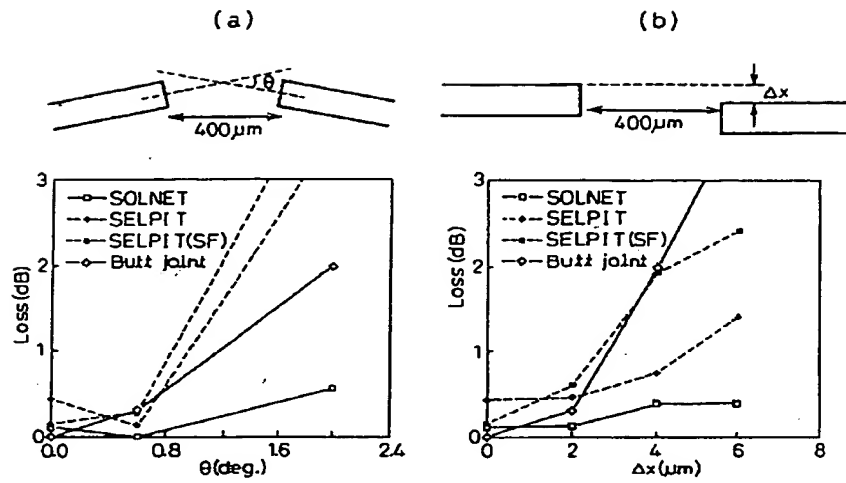
【図 15】



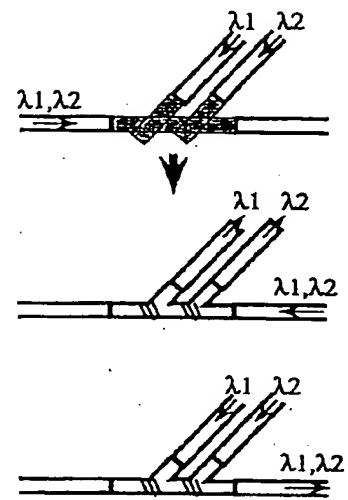
【図 17】



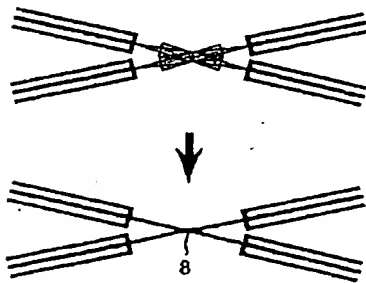
【図13】



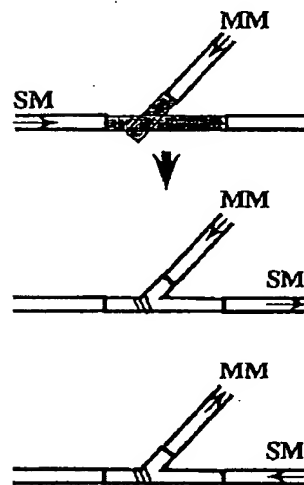
【図18】



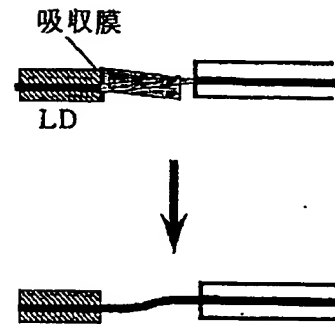
【図16】



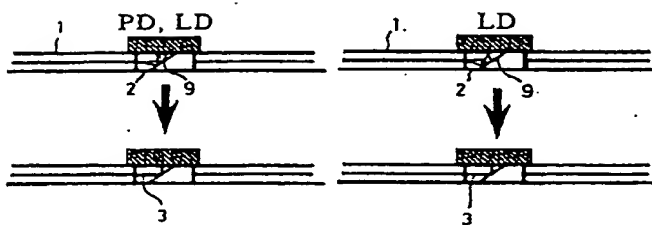
【図19】



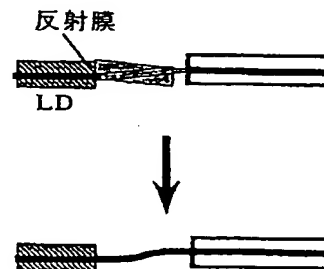
【図22】



【図20】

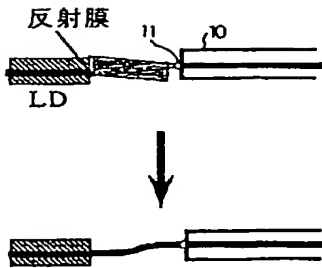


【図21】

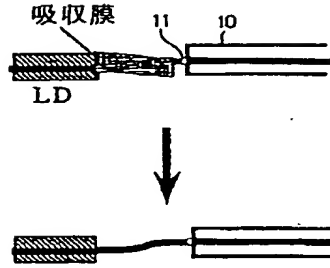




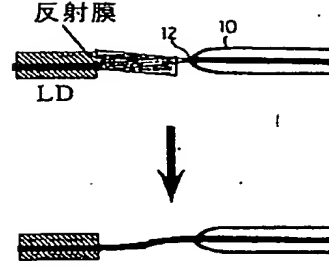
【図23】



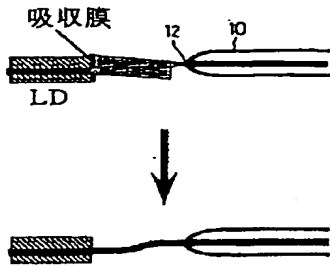
【図24】



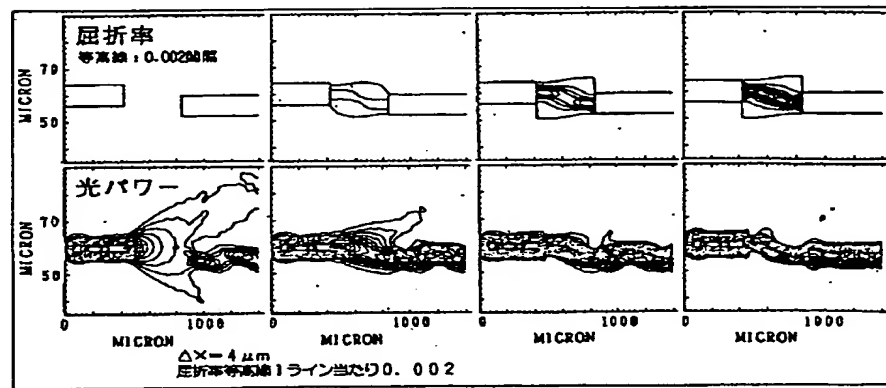
【図25】



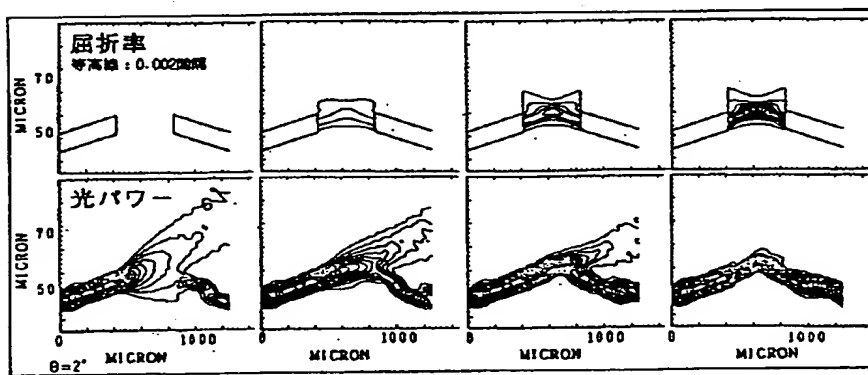
【図26】



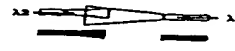
【図27】



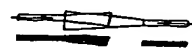
【図28】



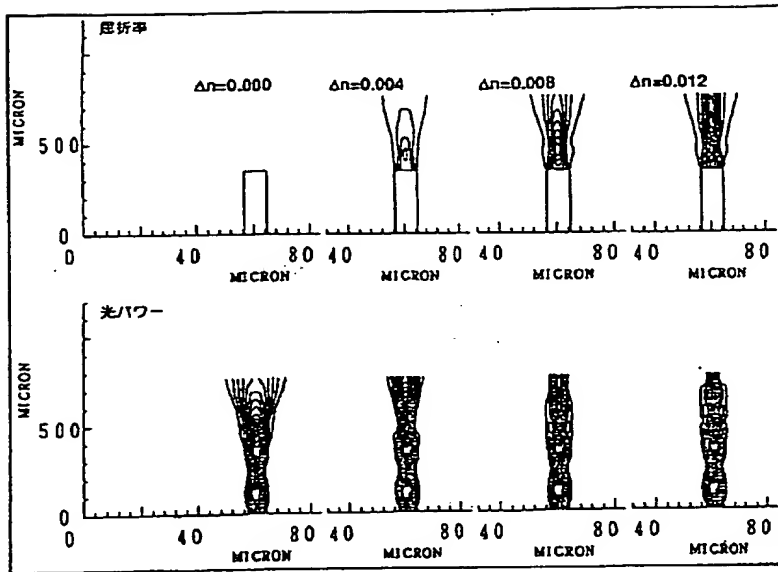
【図30】



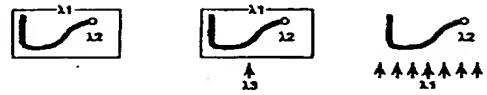
【図31】



【図 29】



【図 45】



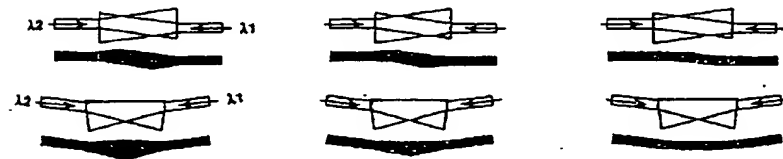
【図 32】



【図 33】



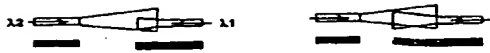
【図 34】



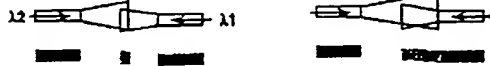
【図 35】



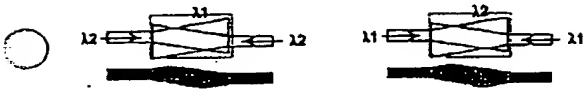
【図 36】



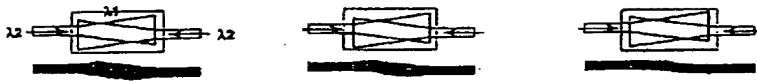
【図 37】



【図 38】



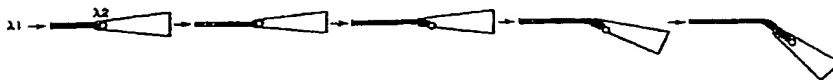
【図 39】



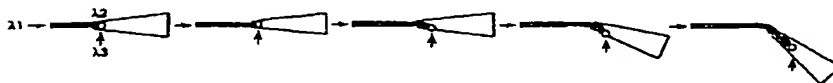
【図 40】



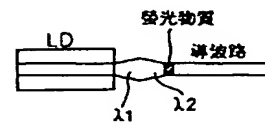
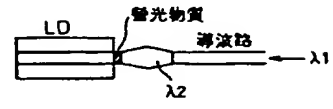
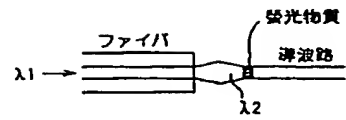
【図 41】



【図 42】



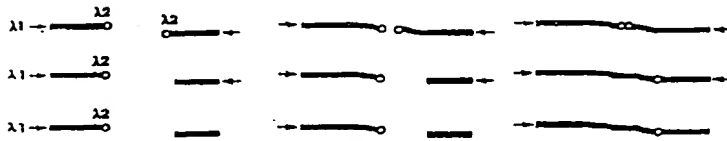
【図 58】



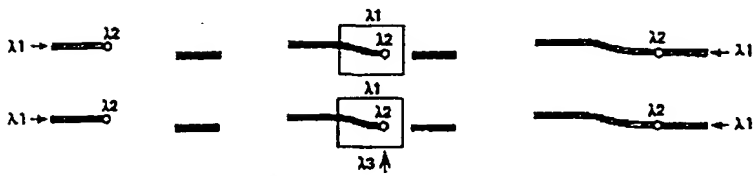
【図 4 3】



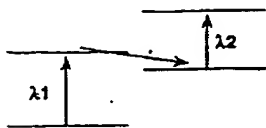
【図 4 4】



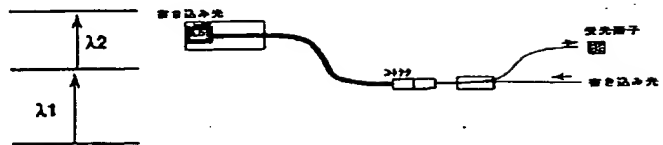
【図 4 6】



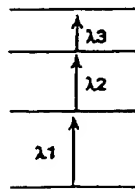
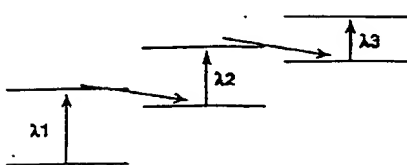
【図 4 7】



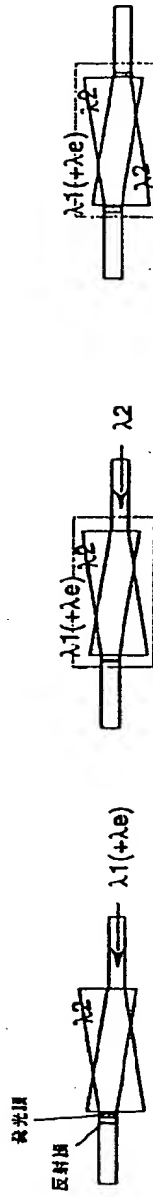
【図 5 0】



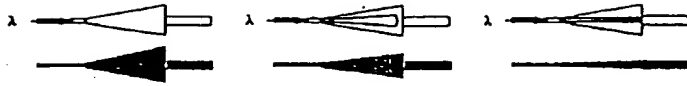
【図 4 8】



【図 4 9】



【図53】



【図54】



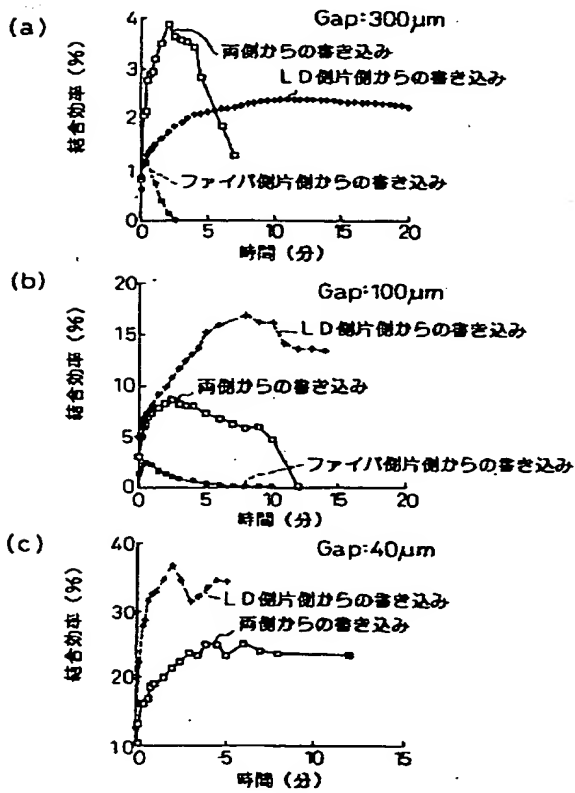
$\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ ともに増感色素が感じる。

【図55】

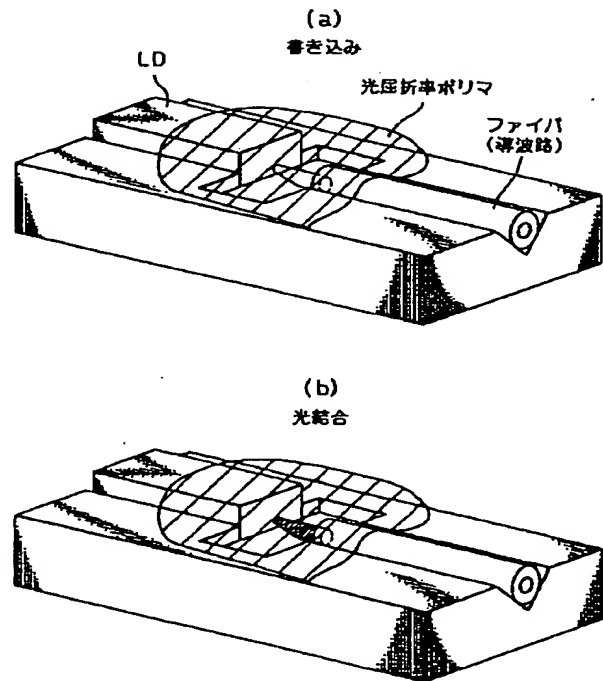


$\lambda 2$  : 増感色素が感じる。  
 $\lambda 1$  : 増感色素は感じないが、モノマまたは開始剤が感じる。

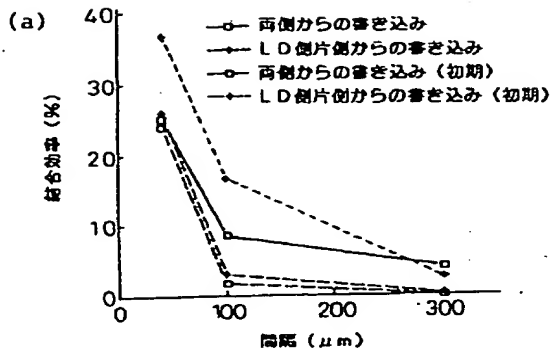
【図56】



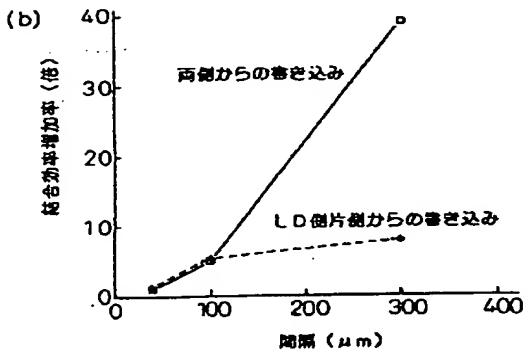
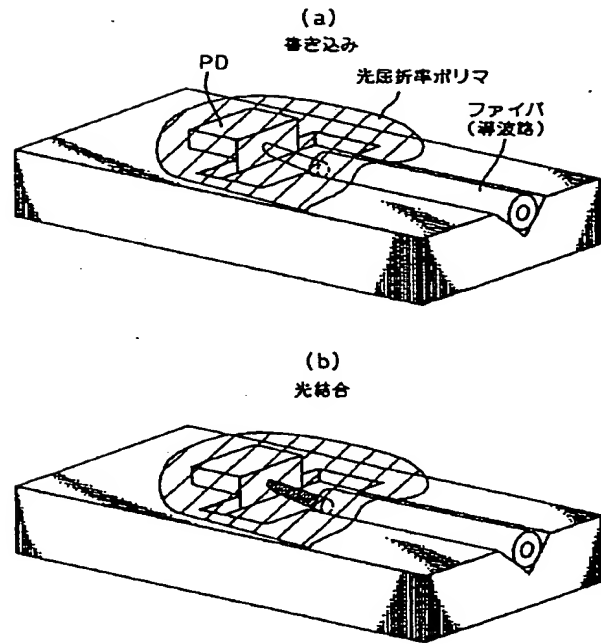
【図62】



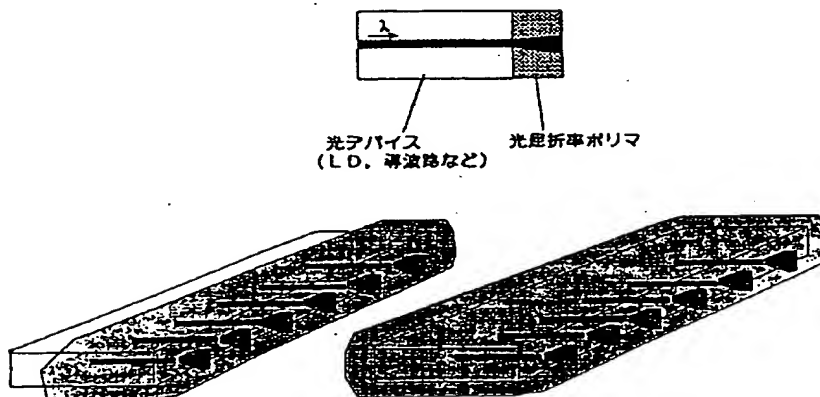
【図 57】



【図 63】

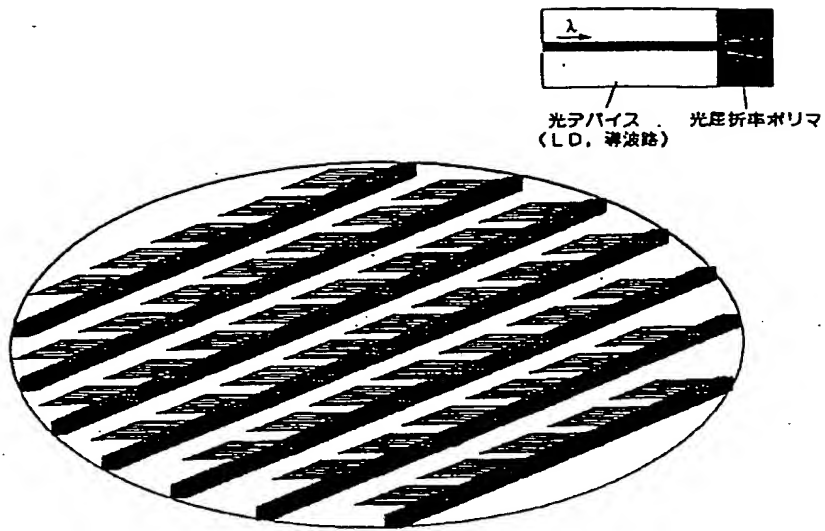


【図 59】

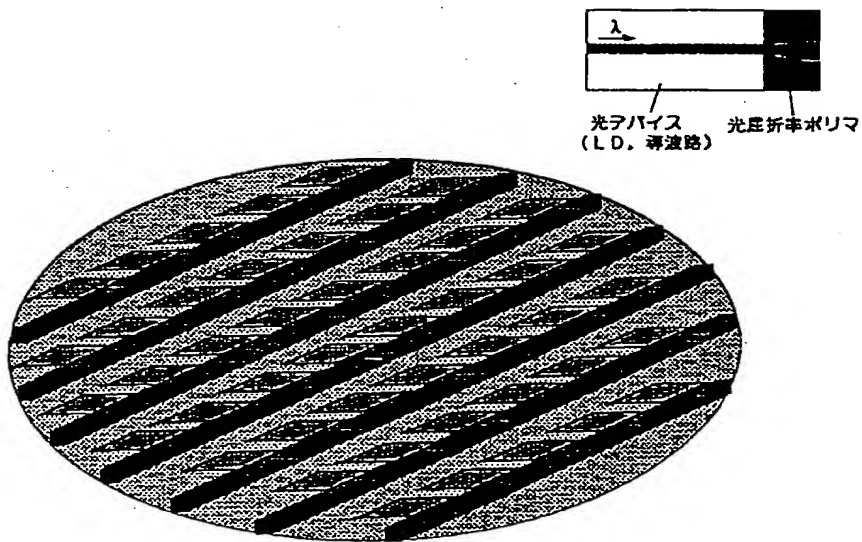




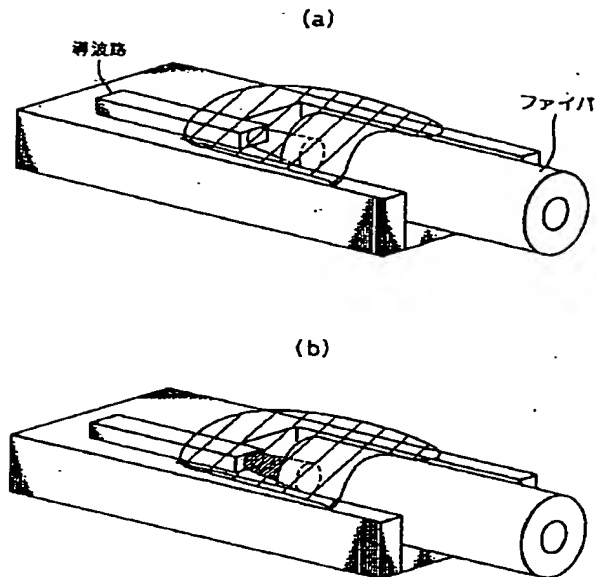
【図 60】



【図 61】



【図 6 4】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6 G 0 2 B 6/42	識別記号	庁内整理番号	F I G 0 2 B 6/12	技術表示箇所 N
(72) 発明者 石塚 剛 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内			(72) 発明者 米田 泰博 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内	
(72) 発明者 本吉 勝貞 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内			(72) 発明者 辰浦 智 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内	
(72) 発明者 青木 重憲 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内			(72) 発明者 雙田 晴久 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内	
(72) 発明者 外山 弥 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内			(72) 発明者 山本 剛之 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内	